

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>C07D 313/00, 493/04, 417/06, 413/06, 405/06, C07F 9/54, C07D 277/24, A61K 31/335</b>		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/00485</b>
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:	6. Januar 2000 (06.01.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/EP99/04915</b>		(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).	
(22) Internationales Anmeldedatum: <b>30. Juni 1999 (30.06.99)</b>			
(30) Prioritätsdaten: 198 30 060.3      30. Juni 1998 (30.06.98)      DE 199 23 001.3      13. Mai 1999 (13.05.99)      DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): <b>SCHERING AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Patente, Müllerstrasse 178, D-13353 Berlin (DE).</b>			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>BUCHMANN, Bernd [DE/DE]; Erdmannstrasse 44, D-16540 Hohen Neuendorf (DE). KLAR, Ulrich [DE/DE]; Isegrimsteig 8a, D-13503 Berlin (DE). SKUBALLA, Werner [DE/DE]; Mattersburger Weg 12, D-13465 Berlin (DE). SCHWEDE, Wolfgang [DE/DE]; Klosterheider Weg 35, D-13467 Berlin (DE). SCHIRNER, Michael [DE/DE]; Eichenstrasse 51, D-13156 Berlin (DE). MENRAD, Andreas [DE/DE]; Allerstrasse 7, D-16515 Oranienburg (DE).</b>		<b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(54) Title: <b>EPOTHILON DERIVATIVES, THEIR PREPARATION PROCESS, INTERMEDIATE PRODUCTS AND THEIR PHARMACEUTICAL USE</b>			
(54) Bezeichnung: <b>EPOTHILON-DERIVATE, VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG, ZWISCHENPRODUKTE UND IHRE PHARMAZEUTISCHE VERWENDUNG</b>			
<div style="text-align: center;"><p>(I)</p></div>			
(57) Abstract			
<p>The invention relates to new epothilone derivatives of general formula (I) where the substituents Y, Z, R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> et X have the meaning given in the description. These new compounds co-operate with tubulin by stabilising formed microtubuli. They are able to affect cell splitting in a phase-specific way and are useful for the treatment of malignant tumours, such as ovarian, stomach, colon, lung, head or neck cancer, adenocarcinoma, malignant melanoma and acute lymphoid and myeloid leukaemia. They are also adapted to anti-angiogenesis therapy and to treatment of chronic inflammation diseases (psoriasis, arthritis). These new compounds can be applied on polymer materials or introduced therein to avoid uncontrolled proliferation on medical implants and to improve tolerance of these medical implants. The inventive compounds can be used alone or in combination with other ingredients or classes of substances which can be used in tumour therapy to obtain respectively additional actions or synergistic effects.</p>			

#### (57) Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft die neuen Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel (I), worin die Substituenten Y, Z, R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X die in der Beschreibung näher angegebenen Bedeutungen haben. Die neuen Verbindungen interagieren mit Tubulin, indem sie gebildete Mikrotubuli stabilisieren. Sie sind in der Lage, die Zellteilung phasenspezifisch zu beeinflussen und sind zur Behandlung maligner Tumoren geeignet, beispielsweise Ovarial-, Magen-, Colon-, Adeno-, Brust-, Lungen-, Kopf- und Nacken-Karzinome, malignes Melanom, akute lymphozytäre und myelocytäre Leukämie. Außerdem sind sie zur Anti-Angiogenese-Therapie sowie zur Behandlung chronischer entzündlicher Erkrankungen (Psoriasis, Arthritis) geeignet. Zur Vermeidung unkontrollierter Zellwucherungen an sowie der besseren Verträglichkeit von medizinischen Implantaten lassen sie sich in polymere Materialien auf- bzw. einbringen. Die erfindungsgemäßen Verbindungen können alleine oder zur Erzielung additiver oder synergistischer Wirkungen in Kombination mit weiteren in der Tumorthherapie anwendbaren Prinzipien und Substanzklassen verwendet werden.

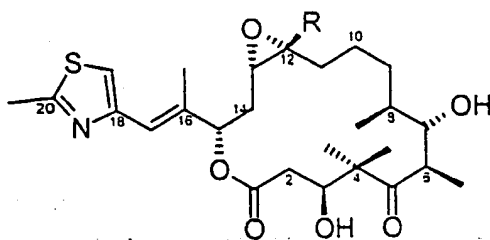
#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidtschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Epothilon-Derivate, Verfahren zu deren Herstellung, Zwischenprodukte und ihre pharmazeutische Verwendung

Von Höfle et al. wird die cytotoxische Wirkung der Naturstoffe Epothilon A (R =  
5 Wasserstoff) und Epothilon B (R = Methyl)



Epothilon A (R = H), Epothilon B (R=CH<sub>3</sub>)

10 z.B. in Angew. Chem. 1996, 108, 1671-1673, beschrieben. Wegen der in-vitro-  
Selektivität gegenüber Brust- und Darmzelllinien und ihrer im Vergleich zu Taxol deutlich  
höheren Aktivität gegen P-Glycoprotein-bildende, multiresistente Tumorzellen sowie ihre  
gegenüber Taxol verbesserten physikalischen Eigenschaften, z.B. eine um den Faktor 30  
höhere Wasserlöslichkeit, ist diese neuartige Strukturklasse für die Entwicklung eines  
15 Arzneimittels zur Therapie maligner Tumoren besonders interessant.

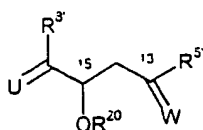
Die Naturstoffe sind sowohl chemisch als auch metabolisch für eine  
Arzneimittelentwicklung nicht ausreichend stabil. Zur Beseitigung dieser Nachteile sind  
Modifikationen an dem Naturstoff nötig. Derartige Modifikationen sind nur auf  
20 totalsynthetischem Wege möglich und setzen Synthesestrategien voraus, die eine breite  
Modifikation des Naturstoffes ermöglichen. Ziel der Strukturveränderungen ist es auch,  
die therapeutische Breite zu erhöhen. Dies kann durch eine Verbesserung der  
Selektivität der Wirkung und/oder eine Reduktion unerwünschter toxischer  
Nebenwirkungen und/oder eine Erhöhung der Wirkstärke erfolgen.

25

Die Totalsynthese von Epothilon A ist von Schinzer et al. in Chem. Eur. J. 1996, 2, No.  
11, 1477-1482 und in Angew. Chem. 1997, 109, Nr. 5, S. 543-544) beschrieben.

Epothilon-Derivate wurden bereits von Höfle et al. in der WO 97/19086 beschrieben.  
Diese Derivate wurden ausgehend vom natürlichen Epothilon A oder B hergestellt.

30 Eine weitere Synthese von Epothilon und Epothilonderivaten wurde von Nicolaou et al. in  
Angew. Chem. 1997, 109, Nr. 1/2, S. 170 - 172 beschrieben. Die Synthese von Epothilon  
A und B und einiger Epothilon-Analoga wurde in Nature, Vol. 387, 1997, S. 268-272, die  
Synthese von Epothilon A und seinen Derivaten in J. Am. Chem. Soc., Vol. 119, No. 34,  
1997, S. 7960 - 7973 sowie die Synthese von Epothilon A und B und einiger Epothilon-

**C**

worin

$R^{5'}$ ,  $R^{8'}$  die bereits in der allgemeinen Formel I für  $R^5$  und  $R^8$  genannte Bedeutung haben und

$R^{20}$  ein Wasserstoffatom oder eine Schutzgruppe  $PG^5$

$U$  ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^9$ , eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann,  $H/OR^{10}$  oder eine Gruppierung  $CR^{11}R^{12}$ ,

wobei

$R^9$  für einen  $C_1$ - $C_{20}$ -Alkylrest,

$R^{10}$  für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^6$ ,

$R^{11}$ ,  $R^{12}$  gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, einen  $C_1$ - $C_{20}$ -Alkyl-, Aryl-,  $C_7$ - $C_{20}$ -Aralkylrest oder  $R^{11}$  und  $R^{12}$  zusammen mit dem Methylenkohlenstoffatom gemeinsam für einen 5- bis 7-gliedrigen carbocyclischen Ring

$W$  ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^{21}$ , eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann oder  $H/OR^{22}$ , stehen,

wobei

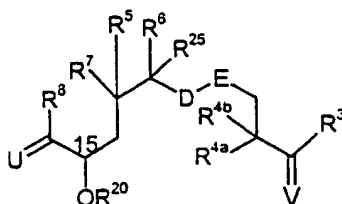
$R^{21}$  für einen  $C_1$ - $C_{20}$ -Alkylrest,

$R^{22}$  für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^7$ ,

bedeuten.

25

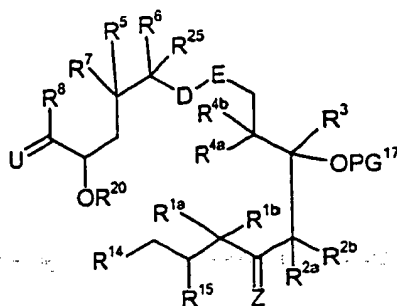
15. Zwischenprodukte der allgemeinen Formel BC

**BC,**

worin

R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>20</sup>, D, E, U und V die bereits genannten Bedeutungen haben.

16. Zwischenprodukte der allgemeinen Formel ABC



ABC,

worin R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>14</sup>, R<sup>15</sup>, D, E, U und Z die bereits genannten Bedeutungen haben.

17. Pharmazeutische Präparate, enthaltend mindestens eine Verbindung der allgemeinen Formel I gemäß Anspruch 1 sowie einen pharmazeutisch verträglichen Träger.

18. Verwendung der Verbindungen der allgemeinen Formel I gemäß Anspruch 1 zur Herstellung von Arzneimitteln.

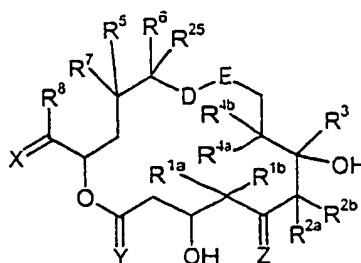
Analoga in J. Am. Chem. Soc., Vol. 119, No. 34, 1997, S. 7974 - 7991 ebenfalls von Nicolaou et al. beschrieben.

Ebenfalls Nicolaou et al. beschreiben in Angew. Chem. 1997, 109, Nr. 19, S. 2181-2187 die Herstellung von Epothilon A-Analoga mittels kombinatorischer Festphasensynthese.

Auch einige Epothilon B-Analoga sind dort beschrieben.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, neue Epothilon-Derivate zur Verfügung zu stellen, die sowohl chemisch als auch metabolisch für eine Arzneimittelentwicklung ausreichend stabil sind und die hinsichtlich ihrer therapeutischen Breite, ihrer Selektivität der Wirkung und/oder unerwünschter toxischer Nebenwirkungen und/oder ihrer Wirkstärke den natürlichen Derivaten überlegen sind.

Die vorliegende Erfindung beschreibt die neuen Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I,



I,

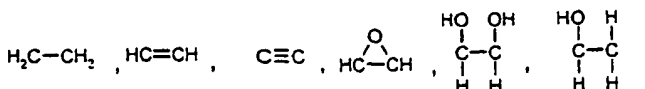
worin

R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl, oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>m</sub>-Gruppe mit m = 2, 3, 4 oder 5,

R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-Gruppe mit n = 2, 3, 4 oder 5,

R<sup>3</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl,

R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>p</sub>-Gruppe mit p = 2, 3, 4 oder 5.



D-E eine Gruppe

R<sup>5</sup> C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl,

R<sup>6</sup>, R<sup>7</sup> je ein Wasserstoffatom, gemeinsam eine zusätzliche Bindung oder ein Sauerstoffatom,

R<sup>25</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, wobei der Alkylrest gegebenenfalls durch ein oder mehrere Halogenatome und/oder Hydroxygruppen substituiert sein kann,

R<sup>8</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl, die alle substituiert sein können,

5 X ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen OR<sup>9</sup>, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann, H/OR<sup>10</sup> oder eine Gruppierung CR<sup>11</sup>R<sup>12</sup>,

wobei

R<sup>9</sup> für einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkylrest,

10 R<sup>10</sup> für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe PG<sup>1</sup>,

R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup> gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl-, Aryl-, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkylrest oder R<sup>11</sup> und R<sup>12</sup> zusammen mit dem Methylenkohlenstoffatom gemeinsam für einen 5- bis 7-gliedrigen carbocyclischen Ring

15

stehen,

Y ein Sauerstoffatom oder zwei Wasserstoffatome,

Z ein Sauerstoffatom oder H/OR<sup>13</sup>,

wobei

20 R<sup>13</sup> Wasserstoff oder eine Schutzgruppe PG<sup>2</sup>

ist,

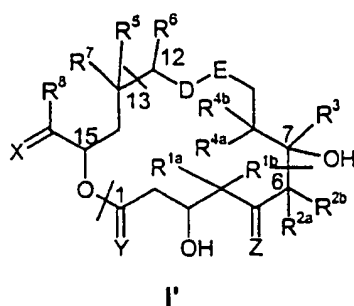
bedeuten,

einschließlich aller Stereoisomeren dieser Verbindungen und auch deren Gemische.

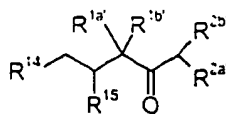
25

Die Darstellung der neuen Epothilon-Derivate basiert auf der Verknüpfung dreier Teilfragmente A, B und C und erfolgt analog wie bereits für Epothilon A- und Epothilon B-Derivate (d.h. an der Stelle von R<sup>5</sup> kann dort nur ein Wasserstoffatom stehen) in der WO 99/07692 beschrieben ist. Die Schnittstellen liegen wie in der allgemeinen Formel I' angedeutet.

30



A bedeutet ein C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>-Fragment (Epothilon-Zählweise) der allgemeinen Formel

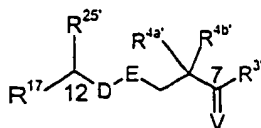


A,

worin

- 5 R1a', R1b', R2a' und R2b' die bereits für R1a, R1b, R2a und R2b genannten Bedeutungen haben und
- R14 CH<sub>2</sub>OR<sup>14a</sup>, CH<sub>2</sub>-Hal, CHO, CO<sub>2</sub>R<sup>14b</sup>, COHal,
- R15 Wasserstoff, OR<sup>15a</sup>, Hal, OSO<sub>2</sub>R<sup>15b</sup>,
- 10 R14a, R15a Wasserstoff, SO<sub>2</sub>-Alkyl, SO<sub>2</sub>-Aryl, SO<sub>2</sub>-Aralkyl oder gemeinsam eine - (CH<sub>2</sub>)<sub>o</sub>-Gruppe oder gemeinsam eine CR<sup>16a</sup>R<sup>16b</sup>-Gruppe,
- R14b, R15b Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl,
- R16a, R16b gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl, oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>q</sub>-Gruppe,
- Hal Halogen,
- 15 o 2 bis 4,
- q 3 bis 6,
- einschließlich aller Stereoisomeren sowie deren Gemische bedeuten sowie freie Hydroxylgruppen in R<sup>14</sup> und R<sup>15</sup> verethert oder verestert, freie Carbonylgruppen in A und R<sup>14</sup> ketalisiert, in einen Enolether überführt oder reduziert sowie freie
- 20 Säuregruppen in A in deren Salze mit Basen überführt sein können.

B steht für ein C7-C12-Fragment (Epothilon-Zählweise) der allgemeinen Formel



B

25

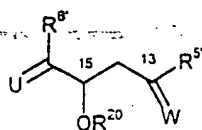
worin

- R3', R4a', R4b' und R25 die bereits für R3, R4a, R4b und R25 genannten Bedeutungen haben, und
- 30 R17 eine Hydroxygruppe, Halogen, eine geschützte Hydroxygruppe OPG<sup>3</sup>, ein Phosphoniumhalogenidrest PPh<sub>3</sub><sup>+</sup>Hal<sup>-</sup> (Ph = Phenyl; Hal = F, Cl, Br, I), ein



Phosphonatrest  $P(O)(OQ)_2$  ( $Q = C_1-C_{10}$ -Alkyl oder Phenyl) oder ein Phosphinoxidrest  $P(O)Ph_2$  ( $Ph = Phenyl$ ),  
 V ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^{18}$ , eine  $C_2-C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann oder  $H/OR^{19}$ ,  
 5  $R^{18}$   $C_1-C_{20}$ -Alkyl,  
 $R^{19}$  ein Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^4$   
 bedeuten.

10 C steht für ein  $C_{13}$ - $C_{16}$ -Fragment (Epothilon-Zählweise) der allgemeinen Formel



C

worin

$R^{5'}$ ,  $R^{8'}$  die bereits in der allgemeinen Formel I für  $R^5$  und  $R^8$  genannte Bedeutung  
 15 haben und

$R^{20}$  ein Wasserstoffatom oder eine Schutzgruppe  $PG^5$

U ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^9$ , eine  $C_2-C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann,  $H/OR^{10}$  oder eine Gruppierung  $CR^{11}R^{12}$ ,

20 wobei

$R^9$  für einen  $C_1-C_{20}$ -Alkylrest,

$R^{10}$  für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^6$ ,

$R^{11}$ ,  $R^{12}$  gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, einen  $C_1-C_{20}$ -Alkyl-, Aryl-,  $C_7-C_{20}$ -Aralkylrest oder  
 25  $R^{11}$  und  $R^{12}$  zusammen mit dem Methylenkohlenstoffatom gemeinsam für einen 5- bis 7-gliedrigen carbocyclischen Ring

W ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^{21}$ , eine  $C_2-C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann oder  $H/OR^{22}$ ,

30 stehen,

wobei

$R^{21}$  für einen  $C_1-C_{20}$ -Alkylrest,

$R^{22}$  für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^7$ ,

bedeuten.

35

Als Alkylgruppen R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>16a</sup>, R<sup>16b</sup> und R<sup>25</sup> sind gerad- oder verzweigt-kettige Alkylgruppen mit 1-10 Kohlenstoffatomen zu betrachten, wie beispielsweise Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, Butyl, Isobutyl, tert.-Butyl, Pentyl, Isopentyl, Neopentyl, Heptyl, Hexyl, Decyl.

- 5 Als Alkylgruppen R<sup>8</sup>, R<sup>9</sup>, R<sup>10</sup>, R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup>, R<sup>13</sup>, R<sup>14b</sup>, R<sup>15b</sup> und R<sup>18</sup> sind gerad- oder verzweigt-kettige Alkylgruppen mit 1-20 Kohlenstoffatomen zu betrachten; wie beispielsweise die im vorstehenden Absatz namentlich genannten Reste sowie deren entsprechende höheren Homologen.

- 10 Die Alkylgruppen R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>9</sup>, R<sup>10</sup>, R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup>, R<sup>13</sup>, R<sup>14b</sup>, R<sup>15b</sup>, R<sup>16a</sup>, R<sup>16b</sup> und R<sup>18</sup> können perfluoriert oder substituiert sein durch 1-5 Halogenatome, Hydroxygruppen, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkoxygruppen, C<sub>6</sub>-C<sub>12</sub>-Arylgruppen (die durch 1-3 Halogenatome substituiert sein können).

- 15 Als Arylreste R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>10</sup>, R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup>, R<sup>13</sup>, R<sup>14b</sup>, R<sup>15b</sup>, R<sup>16a</sup> und R<sup>16b</sup> kommen substituierte und unsubstituierte carbocyclische oder heterocyclische Reste mit einem oder mehreren Heteroatomen wie z.B. Phenyl, Naphthyl, Furyl, Thienyl, Pyridyl, Pyrazolyl, Pyrimidinyl, Oxazolyl, Pyridazinyl, Pyrazinyl, Chinolyl, Thiazolyl, die einfach oder mehrfach substituiert sein können durch Halogen, OH, O-Alkyl, CO<sub>2</sub>H, CO<sub>2</sub>-Alkyl, -NH<sub>2</sub>, -NO<sub>2</sub>, -N<sub>3</sub>, -CN, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Acyl, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Acyloxy-Gruppen, in Frage.

- 20 Die A-alkylgruppen in R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>10</sup>, R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup>, R<sup>13</sup>, R<sup>14b</sup>, R<sup>15b</sup>, R<sup>16a</sup> und R<sup>16b</sup> können im Ring bis 14 C-Atome, bevorzugt 6 bis 10 und in der Alkylkette 1 bis 8, bevorzugt 1 bis 4 Atome enthalten. Als A-alkylreste kommen beispielsweise in Betracht Benzyl, Phenylethyl, Naphthylmethyl, Naphthylethyl, Furylmethyl, Thienylethyl, Pyridylpropyl. Die Ringe können einfach oder mehrfach substituiert sein durch Halogen, OH, O-Alkyl, CO<sub>2</sub>H, CO<sub>2</sub>-Alkyl, -NO<sub>2</sub>, -N<sub>3</sub>, -CN, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Acyl, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Acyloxy-Gruppen.

Die in X in der allgemeinen Formel I enthaltenen Alkoxygruppen sollen jeweils 1 bis 20 Kohlenstoffatome enthalten, wobei Methoxy-, Ethoxy-, Propoxy-, Isopropoxy- und t-Butyloxygruppen bevorzugt sind.

- 30 Als Vertreter für die Schutzgruppen PG sind Alkyl- und/oder Aryl-substituiertes Silyl, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>4</sub>-C<sub>7</sub>-Cycloalkyl, das im Ring zusätzlich ein Sauerstoffatom enthalten kann, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-A-alkyl, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Acyl sowie Aroyl zu nennen.

- Als Alkyl-, Silyl- und Acylreste für die Schutzgruppen PG kommen die dem Fachmann bekannten Reste in Betracht. Bevorzugt sind aus den entsprechenden Alkyl- und Silylethern leicht abspaltbare Alkyl- bzw. Silylreste, wie beispielsweise der Methoxymethyl-, Methoxyethyl-, Ethoxyethyl-, Tetrahydropyranyl-, Tetrahydrofuran-, Trimethylsilyl-, Triethylsilyl-, tert.-Butyldimethylsilyl-, tert.-Butyldiphenylsilyl-, Tribenzylsilyl-, Triisopropylsilyl-, Benzyl, para-Nitrobenzyl-, para-Methoxybenzyl-Rest sowie Alkylsulfonyl- und Arylsulfonylreste. Als Acylreste kommen z.B. Formyl, Acetyl, Propionyl,

Isopropionyl, Pivalyl-, Butyryl oder Benzoyl, die mit Amino- und/oder Hydroxygruppen substituiert sein können, in Frage.

Die Acylgruppen PG<sup>1</sup> bzw. PG<sup>2</sup> in R<sup>10</sup> und R<sup>13</sup> können 1 bis 20 Kohlenstoffatome enthalten, wobei Formyl-, Acetyl-, Propionyl-, Isopropionyl und Pivalylgruppen bevorzugt sind.

Der Index m in der aus R<sup>1a</sup> und R<sup>1b</sup> gebildeten Alkylengruppe steht vorzugsweise für 2, 3 oder 4.

Die für X mögliche C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe ist vorzugsweise eine Ethylenketal- oder Neopentylketalgruppe.

Für den Rest R<sup>25</sup> steht vorzugsweise ein Wasserstoffatom, eine Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Hydroxymethyl-, Fluormethyl- oder Trifluormethylgruppe.

Die Substituenten können in den Verbindungen der allgemeinen Formel I so gewählt sein, daß

R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup> und R<sup>7</sup> alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B oder

R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B oder

Y, Z, R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup> und R<sup>7</sup> alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B oder

Y, Z, R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B oder

R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B.

Eine weitere erfindungsgemäße Variante sieht solche Verbindungen vor, worin R<sup>5</sup> für eine Methyl-, Ethyl- oder Propylgruppe steht, wobei dann vorzugsweise R<sup>6</sup> und R<sup>7</sup> gemeinsam eine zusätzliche Bindung oder eine Epoxygruppe bedeuten.

5

Die nachstehen genannten Verbindungen sind erfindungsgemäß bevorzugt:

10 (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

15 (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

20

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

25 (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

30

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

35

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-7-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,9,14-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1.8.8.12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-5,5-dimethylen-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-7,9,14-trimethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-8,8-dimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-8,8-dimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-5,5-trimethylen-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-7,9,14-trimethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-8,8-trimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-8,8-trimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

5 (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

10 (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-7,14-diethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,9-trimethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1,10-diethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1,10-diethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-propyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

20 (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

25

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

30 (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

35 (4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-7-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,9,14-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-propyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

5 (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,13,14-hexamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12,16-hexamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

10 (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12,16-hexamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

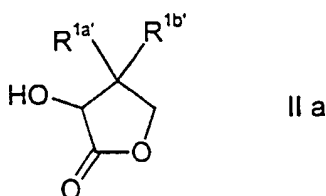
15 (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,13,14-hexamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12,16-hexamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und

20 (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12,16-hexamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

Darstellung der Teilfragmente A (WO 99/07692)

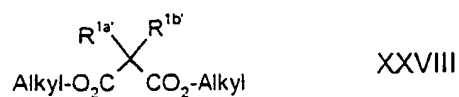
25 Die Teilfragmente (Synthesebausteine) der allgemeinen Formel A lassen sich leicht aus a) einem Pantolacton der allgemeinen Formel IIa



30 worin  
R1a', R1b' jeweils für eine Methylgruppe stehen  
oder



b) einem Malonsäuredialkylester der allgemeinen Formel XXVIII



5 worin

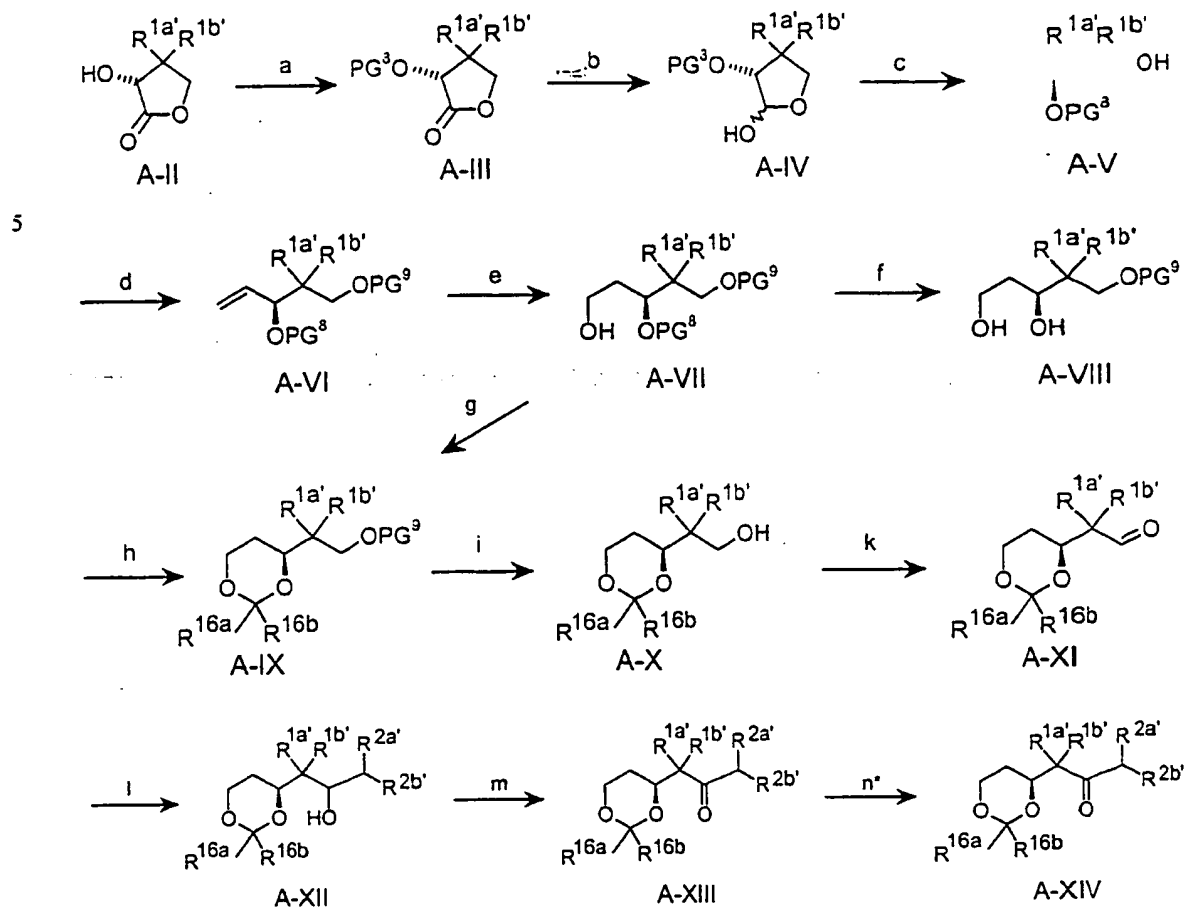
R<sup>1a'</sup>, R<sup>1b'</sup> die in der allgemeinen Formel A angegebene Bedeutung haben, und Alkyl unabhängig voneinander einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl-, C<sub>3</sub>-C<sub>10</sub>-Cycloalkyl- oder C<sub>4</sub>-C<sub>20</sub>-Alkylcycloalkylrest bedeuten.

10 als Ausgangsprodukt herstellen.

Die Teilfragmente A, in denen R<sup>1a'</sup>=R<sup>1b'</sup>=Methyl ist, können aus wohlfeilem Pantolacton auf effiziente Weise mit einer optischen Reinheit >98%*ee* hergestellt werden.

Die Synthese wird im folgenden Schema 1 am Beispiel des D-(-)-Pantolactons beschrieben. Aus L-(+)-Pantolacton erhält man die entsprechenden, zu A-II bis A-XIV enantiomeren Verbindungen ent-A-II bis ent-A-XIV und aus racemischem DL-Pantolacton die entsprechenden racemischen Verbindungen rac-A-II bis rac-A-XIV:

Schema 1



\*: nur, falls R<sup>2a'</sup> oder R<sup>2b'</sup> in A-XIII gleich Wasserstoff ist

#### Schritt a (A-II $\Rightarrow$ A-III):

Die freie Hydroxygruppe des Pantolactons (A-II) wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe PG<sup>8</sup> kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen wie z.B. der Methoxymethyl-, Methoxyethyl-, Ethoxyethyl-, Tetrahydropyranyl-, Tetrahydrofuranyl-, Trimethylsilyl-, Triethylsilyl-, tert.-Butyldimethylsilyl-, tert.-Butyldiphenylsilyl-, Tribenzylsilyl-, Triisopropylsilyl-, Benzyl, para-Nitrobenzyl-, para-Methoxybenzyl-, Formyl-, Acetyl-, Propionyl-, Isopropionyl-, Pivalyl-, Butyryl- oder Benzoylrest in Frage.

Eine Übersicht befindet sich z.B. in "Protective Groups in Organic Synthesis" Theodora W. Green, John Wiley and Sons).

Bevorzugt sind solche Schutzgruppen, die unter sauren Reaktionsbedingungen gespalten werden können, wie z.B. der Methoxymethyli-, Tetrahydropyranyi-, Tetrahydrofuranyi-, Trimethylsilyl-Rest.

Besonders bevorzugt ist der Tetrahydropyranyi-Rest.

5

Schritt b (A-III  $\Rightarrow$  A-IV):

Das geschützte Lacton A-III wird zum Lactol A-IV reduziert. Als Reduktionsmittel eignen sich in ihrer Reaktivität modifizierte Aluminiumhydride wie z.B. Diisobutylaluminiumhydrid. Die Reaktion erfolgt in einem inerten Lösungsmittel wie z.B. Toluol, vorzugsweise bei niedrigen Temperaturen.

10

Schritt c (A-IV  $\Rightarrow$  A-V):

Das Lactol A-IV wird unter Erweiterung um ein C-Atom zum Hydroxyolefin A-V geöffnet. Hierzu eignen sich die, dem Fachmann bekannten Methoden wie z.B. die Olefinierung nach Tebbe, die Wittig- oder Wittig/Horner-Reaktion, die Addition einer metallorganischen Verbindung unter Abspaltung von Wasser. Bevorzugt ist die Wittigreaktion unter Verwendung von Methyltriarylphosphoniumhalogeniden wie z.B. Methyltriphenylphosphoniumbromid mit starken Basen wie z.B. n-Butyllithium, Kaliumtert.-butanolat, Natriumethanolat, Natriumhexamethyldisilazan; als Base bevorzugt ist n-Butyllithium.

15

20

Schritt d (A-V  $\Rightarrow$  A-VI):

Die freie Hydroxygruppe in A-V wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe PG<sup>9</sup> kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für PG<sup>8</sup> im Schritt a (A-II  $\Rightarrow$  A-III) genannt wurden, in Frage.

25

Bevorzugt sind solche Schutzgruppen, die unter Einwirkung von Fluorid gespalten werden können, wie z.B. der Trimethylsilyl-, tert.-Butyldimethylsilyl-, tert.-Butyldiphenylsilyl-, Tribenzylsilyl-, Triisopropylsilyl-Rest.

30

Besonders bevorzugt ist der tert.-Butyldimethylsilyl-, der Triisopropylsilyl- und der tert.-Butyldiphenylsilyl-Rest.

Schritt e (A-VI  $\Rightarrow$  A-VII):

An die Doppelbindung in A-VI wird nach anti-Markovnikov Wasser addiert. Hierzu eignen sich die dem Fachmann bekannten Verfahren wie z.B. die Umsetzung mit Boranen, deren anschließende Oxidation zu den entsprechenden Borsäureestern und deren Verseifung. Als Borane bevorzugt sind z.B. der Boran-Tetrahydrofuran-Komplex, der Boran-Dimethylsulfid-Komplex, 9-Borabicyclo[3.3.1]nonan in einem inerten Lösungsmittel wie beispielsweise Tetrahydrofuran oder Diethylether. Als Oxidationsmittel wird

35

vorzugsweise Wasserstoffperoxid verwendet, zur Verseifung der Borester vorzugsweise Alkalihydroxide wie z.B. Natriumhydroxid.

Schritt f (A-VI  $\Rightarrow$  A-VII):

5 Die unter Schritt a) eingeführte Schutzgruppe PG<sup>8</sup> wird nun nach den dem Fachmann bekannten Verfahren gespalten. Handelt es sich um eine sauer spaltbare Schutzgruppe, so eignen sich für die Spaltung verdünnte Mineralsäuren in wässrig-alkoholischen Lösungen, die Verwendung von katalytischen Mengen Säuren wie z.B. para-Toluolsulfonsäure, para-Toluolsulfonsäure-pyridiniumsalz, Camphersulfonsäure in  
10 alkoholischen Lösungen, vorzugsweise in Ethanol oder Isopropanol.

Schritt g (A-VII  $\Rightarrow$  A-IX):

Ein gemeinsamer Schutz beider Alkoholfunktionen des monogeschützten 1.3-Diols in A-VII ist durch direkte Ketalisierung mit einer Carbonylverbindung der allgemeinen Formel  
15 R<sup>16a</sup>-CO-R<sup>16b</sup>, oder durch Umketalisierung mit einem Ketal der allgemeinen Formeln, R<sup>16a</sup>-C(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>-R<sup>16b</sup>, R<sup>16a</sup>-C(OC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-R<sup>16b</sup>, R<sup>16a</sup>-C(OCH<sub>2</sub>C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)-R<sup>16b</sup> worin jeweils R<sup>16a</sup> und R<sup>16b</sup> die oben angegebenen Bedeutungen haben, unter Säurekatalyse möglich. Als Säuren eignen sich die bereits unter Schritt f) genannten Säuren, bevorzugt ist die Verwendung von para-Toluolsulfonsäure gegebenenfalls unter  
20 Zusatz von Kupfer(II)- oder Kobalt(II)-Salzen wie z.B. Kupfer(II)sulfat.

Schritt h (A-VIII  $\Rightarrow$  A-IX):

Ein Schutz beider Alkoholfunktionen des 1.3-Diols in A-VIII ist durch direkte Ketalisierung mit einer Carbonylverbindung der allgemeinen Formel R<sup>16a</sup>-CO-R<sup>16b</sup>, oder durch  
25 Umketalisierung mit einem Ketal der allgemeinen Formeln, R<sup>16a</sup>-C(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>-R<sup>16b</sup>, R<sup>16a</sup>-C(OC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-R<sup>16b</sup>, R<sup>16a</sup>-C(OCH<sub>2</sub>C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)-R<sup>16b</sup> worin jeweils R<sup>16a</sup> und R<sup>16b</sup> die oben angegebenen Bedeutungen haben, unter Säurekatalyse möglich. Bevorzugt ist die Umketalisierung vorzugsweise mit 2,2-Dimethoxypropan. Als Säuren eignen sich die bereits unter Schritt f) genannten Säuren, bevorzugt ist die Verwendung  
30 von Camphersulfonsäure.

Schritt i (A-IX  $\Rightarrow$  A-X):

Die unter Schritt d) eingeführte Schutzgruppe PG<sup>9</sup> wird nun nach den dem Fachmann bekannten Verfahren gespalten. Handelt es sich um einen Silylether, so eignet sich für  
35 die Spaltung die Umsetzung mit Fluoriden wie beispielsweise Tetrabutylammoniumfluorid, dem Fluorwasserstoff-Pyridin-Komplex, Kaliumfluorid oder die Anwendung verdünnter Mineralsäuren, die Verwendung von katalytischen Mengen Säuren wie z.B. para-Toluolsulfonsäure, para-Toluolsulfonsäure-pyridiniumsalz,

Camphersulfonsäure in alkoholischen Lösungen, vorzugsweise in Ethanol oder Isopropanol.

Schritt k ( $A-X \Rightarrow A-XI$ ):

- 5 Die Oxidation des primären Alkohols in A-X zum Aldehyd erfolgt nach den, dem Fachmann bekannten Methoden. Beispielsweise genannt sei die Oxidation mit Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat, Chromtrioxid-Pyridin-Komplex, die Oxidation nach Swern oder verwandter Methoden z.B. unter Verwendung von Oxalylchlorid in Dimethylsulfoxid, die Verwendung des Dess-Martin-Periodinans, die
- 10 Verwendung von Stickstoffoxiden wie z.B. N-Methyl-morpholino-N-oxid in Gegenwart geeigneter Katalysatoren wie z.B. Tetrapropylammoniumperruthenat in inerten Lösungsmitteln. Bevorzugt ist die Oxidation nach Swern sowie mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

15 Schritt l ( $A-XI \Rightarrow A-XII$ ):

- Die Umsetzung der Aldehyde A-XI zu Alkoholen der Formel A-XII erfolgt mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel  $M-CHR^{2a'}R^{2b'}$ , worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall MX, worin X ein Halogen repräsentiert und die Reste  $R^{2a'}$  und  $R^{2b'}$  jeweils die oben genannten Bedeutungen
- 20 aufweisen. Als zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

Schritt m ( $A-XII \Rightarrow A-XIII$ ):

- Die Oxidation des sekundären Alkohols in A-XII A-XIII erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methyl-morpholino-N-oxid
- 25 unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

Schritt n ( $A-XIII \Rightarrow A-XIV$ ):

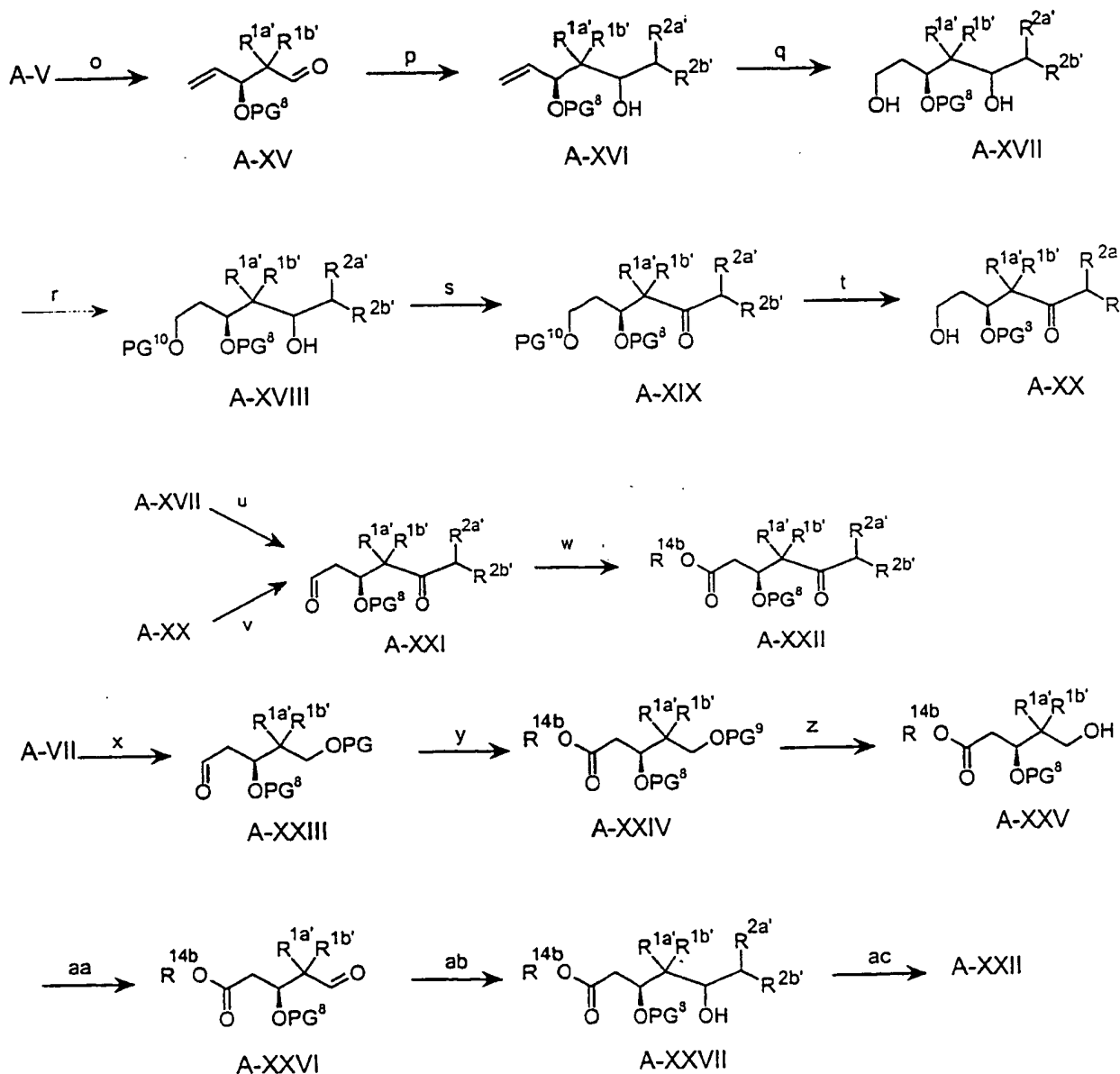
- Für den Fall, daß  $R^{2a'}$  in A-XIII gleich Wasserstoff ist, besteht die Möglichkeit, hierfür
- 30 einen zweiten Rest  $R^{2a'}$ , der die oben genannten Bedeutungen, ausgenommen Wasserstoff besitzt, einzuführen. Hierzu wird unter Anwendung starker Basen wie z.B. Lithiumdiisopropylamid das Keton in A-XIII in das Enolat überführt und mit einer Verbindung der allgemeinen Formel  $X-R^{2a'}$ , worin X ein Halogen repräsentiert umgesetzt. Als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

35

Der zuvor beschriebene Weg kann ebenfalls dazu benutzt werden, C1-C6-Epothilon-Bausteine zu synthetisieren, die an C-1 eine Carbonsäure oder deren Ester enthalten ( $R^{14}=CO_2R^{14b}$  in A).

Die Synthese des Bausteins A-XXII wird im folgenden Schema 2 am Beispiel der von D-(-)-Pantolacton abgeleiteten Zwischenstufe A-V beschrieben. Aus L-(+)-Pantolacton erhält man die entsprechenden, zu A-V bis A-XXVII enantiomeren Verbindungen ent-A-V bis ent-A-XXVII und aus racemischem DL-Pantolacton die entsprechenden racemischen Verbindungen rac-A-V bis rac-A-XXVII:

### Schema 2



Schritt o ( $A-V \Rightarrow A-XV$ ):

Die Oxidation des primären Alkohols in A-V zum Aldehyd A-XV erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist das Oxidationsverfahren nach Swern.

5 Schritt p ( $A-XV \Rightarrow A-XVI$ ):

Die Umsetzung der Aldehyde A-XV zu Alkoholen der Formel A-XVI erfolgt mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel  $M-CHR^{2a'}R^{2b'}$ , worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall MX, worin X ein Halogen repräsentiert und die Reste  $R^{2a'}$  und  $R^{2b'}$  jeweils die oben genannten Bedeutungen aufweisen. Als zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist  
10 bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

Schritt q ( $A-XVI \Rightarrow A-XVII$ ):

An die Doppelbindung in A-XVI wird nach anti-Markovnikov Wasser addiert. Hierzu  
15 eignen sich die unter e) beschriebenen Verfahren.

Schritt r ( $A-XVII \Rightarrow A-XVIII$ ):

Die freie Hydroxygruppe in A-XVII wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe  $PG^{10}$  kommen die, dem Fachmann bekannten  
20 Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für  $PG^8$  im Schritt a ( $A-II \Rightarrow A-III$ ) genannt wurden, in Frage.

Bevorzugt sind solche Schutzgruppen, die unter basischen oder hydrogenolytischen Reaktionsbedingungen gespalten werden können, wie z.B. Benzyl-, para-Nitrobenzyl-, Acetyl-, Propionyl-, Butyryl-, Benzoyl -Rest.

25 Besonders bevorzugt ist der Benzoyl-Rest.

Schritt s ( $A-XVIII \Rightarrow A-XIX$ ):

Die Oxidation des sekundären Alkohols in A-XVIII zum Keton A-XIX erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methylmorpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumper-ruthenat.  
30

Schritt t ( $A-XIX \Rightarrow A-XX$ ):

Die Schutzgruppe  $PG^{10}$  in XIX wird nun selektiv gespalten. Handelt es sich um eine hydrogenolytisch spaltbare Schutzgruppe, so wird vorzugsweise in Gegenwart von  
35 Palladium- oder Platin-Katalysatoren in inerten Lösungsmitteln wie beispielsweise Ethylacetat oder Ethanol hydriert. Handelt es sich um eine basisch spaltbare Schutzgruppe, so findet vorzugsweise Verwendung die Verseifung mit Carbonaten in alkoholischer Lösung wie z.B. Kaliumcarbonat in Methanol, die Verseifung mit wässrigen Lösungen von Alkalihydroxiden wie z.B. Lithiumhydroxid oder Natriumhydroxid unter

Verwendung von organischen, mit Wasser mischbaren Lösungsmitteln wie z.B. Methanol, Ethanol, Tetrahydrofuran oder Dioxan.

Schritt u ( $A\text{-XVII} \Rightarrow A\text{-XXI}$ ):

- 5 Die Oxidation der Alkohole in A-XVII zum Ketoaldehyd A-XXI erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat sowie die Methode nach Swern.

10 Schritt v ( $A\text{-XX} \Rightarrow A\text{-XXI}$ ):

Die Oxidation des primären Alkohols in A-XX zum Ketoaldehyd A-XXI erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

15 Schritt w ( $A\text{-XXI} \Rightarrow A\text{-XXII}$ ):

- Die Oxidation des Aldehydes in A-XXI zur Carbonsäure A-XXII ( $R^{14b}$ =Wasserstoff) erfolgt nach den, dem Fachmann bekannten Methoden. Beispielsweise genannt sei die Oxidation nach Jones, die Oxidation mit Kaliumpermanganat beispielsweise in einem wässrigen System aus tert.-Butanol und Natriumdihydrogenphosphat, die Oxidation mit  
20 Natriumchlorit in wässrigem tert.-Butanol gegebenenfalls in Gegenwart eines Chlorfängers wie z.B. 2-Methyl-2-buten.

Die Oxidation des Aldehydes in A-XXI zum Ester A-XXII, worin  $R^{14b}$  die oben genannten Bedeutungen hat und ungleich Wasserstoff ist, kann beispielsweise mit Pyridiniumdichromat und dem gewünschten Alkohol  $HO\text{-}R^{14b}$  in einem inerten  
25 Lösungsmittel wie z.B. Dimethylformamid erfolgen.

Schritt x ( $A\text{-VII} \Rightarrow A\text{-XXIII}$ ):

- Die Oxidation des primären Alkohols in A-VII zum Aldehyd A-XXIII erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat sowie die Methode  
30 nach Swern.

Schritt y ( $A\text{-XXIII} \Rightarrow A\text{-XXIV}$ ):

- Die Oxidation des Aldehyds A-XXIII zur Carbonsäure bzw. deren Ester A-XXIV erfolgt  
35 nach den bereits unter w) beschriebenen Bedingungen.

Schritt z ( $A\text{-XXIV} \Rightarrow A\text{-XXV}$ ):

Die unter Schritt d) eingeführte Schutzgruppe  $PG^9$  wird wie unter Schritt i beschrieben gespalten.



Schritt aa ( $A\text{-XXV} \Rightarrow A\text{-XXVI}$ ):

Die Oxidation des primären Alkohols in A-XXV zum Aldehyd A-XXVI erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methylmorpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat sowie die Methode nach Swern.

Schritt ab ( $A\text{-XXVI} \Rightarrow A\text{-XXVII}$ ):

Die Umsetzung der Aldehyde A-XXVI zu Alkoholen der Formel A-XXVII erfolgt nach den, unter Schritt l) genannten Bedingungen.

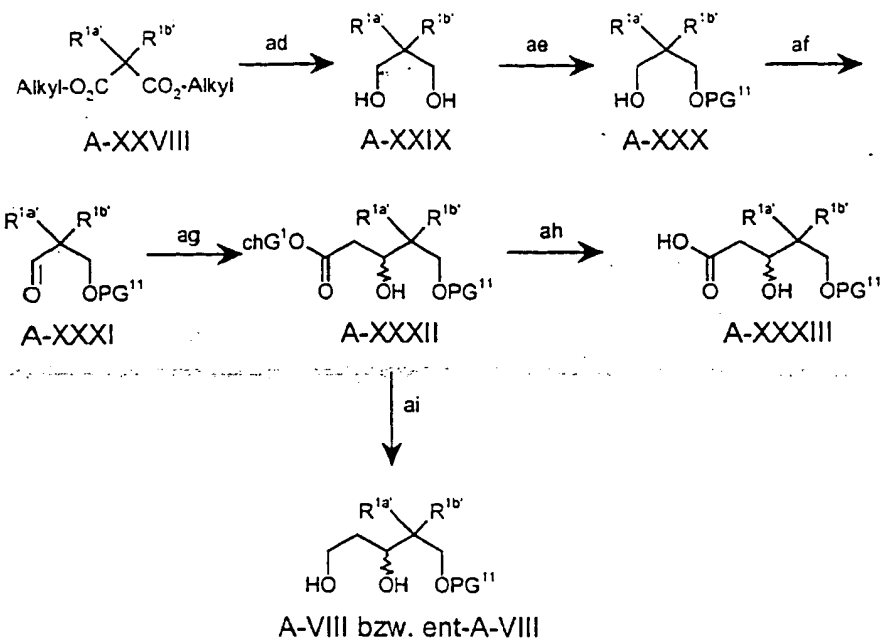
Schritt ac ( $A\text{-XXVII} \Rightarrow A\text{-XXII}$ ):

Die Oxidation des sekundären Alkohols in A-XXVII zum Keton A-XXII erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methylmorpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

Die Verbindungen der Formel A, in der  $R^{1a'}$  und  $R^{1b'}$  alle die in der allgemeinen Formel A angegebenen Bedeutungen haben können, lassen sich ferner aus wohlfeilen oder leicht zugänglichen Malonsäuredialkylestern auf effiziente Weise mit hoher optischer Reinheit herstellen.

Die Synthese wird im folgenden Schema 3 beschrieben:

Schema 3



Schritt ad (A-XXVIII  $\Rightarrow$  A-XXIX):

- 10 Entsprechend substituierte Malonsäuresterderivate A-XXVIII, die entweder käuflich sind oder nach den, dem Fachmann bekannten Verfahren aus Malonsäuren oder deren Alkylestern hergestellt werden können, werden zu Diolen A-XXIX reduziert. Hierzu eignen sich die, dem Fachmann bekannten Reduktionsmittel wie z.B. Diisobutylaluminiumhydrid, komplexe Metallhydride wie z.B. Lithiumaluminiumhydrid.

15

Schritt ae (A-XXIX  $\Rightarrow$  A-XXX):

Eine freie Hydroxylgruppe in A-XXIX wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden selektiv geschützt. Als Schutzgruppe PG<sup>11</sup> kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für PG<sup>8</sup> im Schritt a (A-II  $\Rightarrow$  A-III) genannt wurden, in Frage.

20

Bevorzugt sind Silizium-haltige Schutzgruppen.

Schritt af (A-XXX  $\Rightarrow$  A-XXXI):

- 25 Die Oxidation der verbliebenen, primären Hydroxylgruppe in A-XXX zum Aldehyd A-XXXI erfolgt nach den, unter Schritt k) genannten Bedingungen. Bevorzugt ist die Oxidation mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumper-ruthenat,

die Verwendung von Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat sowie die Methode nach Swern.

Schritt ag (A-XXXI  $\Rightarrow$  A-XXXII):

- 5 Die Aldehyde A-XXXI werden mit einem Ester der Essigsäure  $\text{chG}^1\text{OC(O)CH}_3$ , worin  $\text{chG}^1$  eine chirale Hilfsgruppe bedeutet, im Sinne einer Aldolreaktion umgesetzt. Die Verbindungen  $\text{chG}^1\text{OC(O)CH}_3$  werden in optisch reiner Form in die Aldolreaktion eingesetzt. Die Art der chiralen Hilfsgruppe bestimmt, ob die Aldolreaktion mit hoher Diastereoselektivität verläuft oder ein mit physikalischen Methoden trennbares
- 10 Diastereomerengemisch ergibt. Eine Übersicht über vergleichbare diastereoselektive Aldolreaktionen findet sich in Angew. Chem. 99 (1987), 24-37. Als chirale Hilfsgruppen  $\text{chG}^1\text{-OH}$  eignen sich beispielsweise optisch reines 2-Phenyl-cyclohexanol, Pulegol, 2-Hydroxy-1,2,2-triphenylethanol, 8-Phenylmenthol.

- 15 Schritt ah (A-XXXII  $\Rightarrow$  A-XXXIII):

Die diastereomerenreinen Verbindungen A-XXXII können dann nach dem Fachmann bekannten Verfahren durch Verseifung der Estereinheit unter gleichzeitiger Freisetzung der wiederverwendbaren chiralen Hilfskomponente  $\text{chG}^1\text{-OH}$  in enantiomerenreine Verbindungen des Typs A-XXXIII oder ent-A-XXXIII überführt werden. Für die Verseifung

20 geeignet sind Carbonate in alkoholischer Lösung wie z.B. Kaliumcarbonat in Methanol, wässrige Lösungen von Alkalihydroxiden wie z.B. Lithiumhydroxid oder Natriumhydroxid unter Verwendung von organischer, mit Wasser mischbaren Lösungsmitteln wie z.B. Methanol, Ethanol, Tetrahydrofuran oder Dioxan.

- 25 Schritt ai (A-XXXII  $\Rightarrow$  A-VIII):

Alternativ zum Schritt ah kann die chirale Hilfsgruppe auch reduktiv entfernt werden. Auf diese Weise werden die enantiomerenreinen Verbindungen des Typs A-VIII bzw. ent-A-VIII erhalten. Die Reduktion kann nach den, dem Fachmann bekannten Verfahren durchgeführt werden. Als Reduktionsmittel kommen z.B. Diisobutylaluminiumhydrid und

30 komplexe Metallhydride wie z.B. Lithiumaluminiumhydrid in Frage.

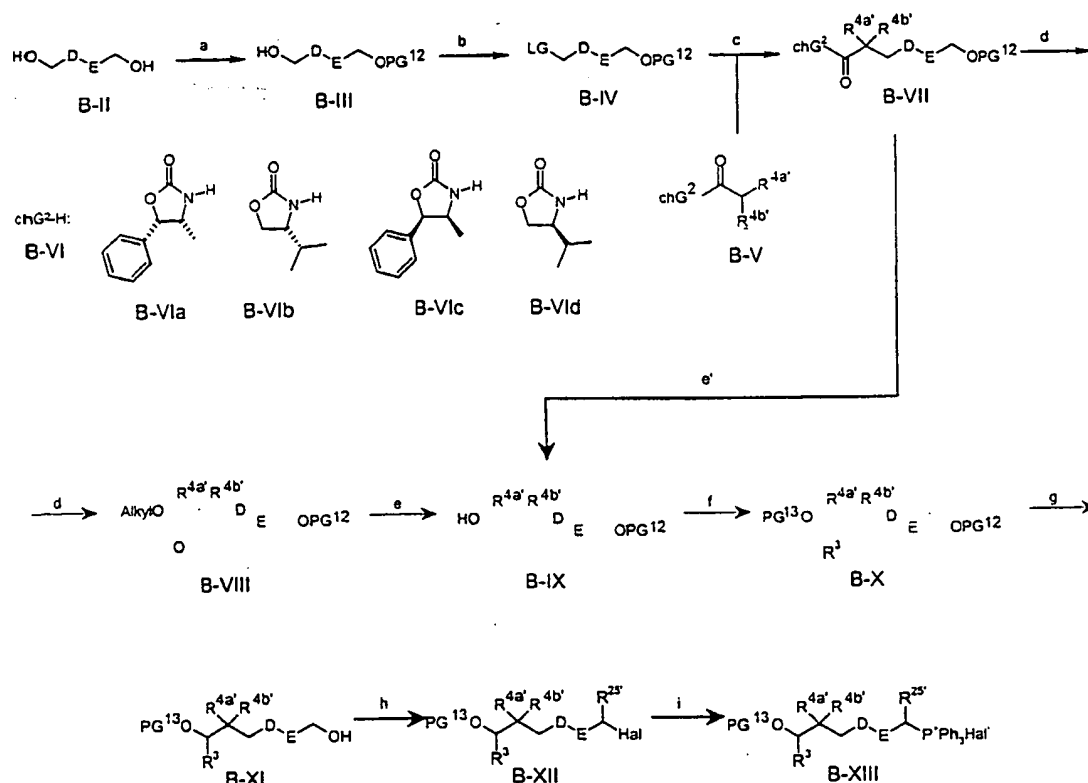
- Die Verbindungen A-VIII bzw. ent-A-VIII können wie zuvor beschrieben in Verbindungen des Typs A-XIII bzw. ent-A-XIII überführt werden. Entsprechend lassen sich Verbindungen des Typs A-XXXIII bzw. ent-A-XXXIII gemäß oben beschriebenen
- 35 Verfahren in Verbindungen des Typs A-XXII bzw. ent-A-XXII überführen.

Alternativ zum oben geschilderten Weg kann die Sequenz auch ohne Verwendung einer chiralen Hilfsgruppe  $\text{chG}^1$  durchgeführt werden. Auf diese Weise werden dann racemische Mischungen von Verbindungen des Typs rac-A-VIII bzw. rac-A-XXXIII über

die entsprechenden, racemischen Vorstufen erhalten. Diese Mischungen können wiederum nach den, dem Fachmann bekannten Verfahren zur Racematspaltung, z.B. Chromatographie an chiralen Säulen, getrennt werden. Die Fortsetzung der Synthese kann aber auch mit den racemischen Gemischen erfolgen.

Darstellung der Teilfragmente B (siehe auch WO 99/07692)

Schema 4



Schritt a (B-II  $\Rightarrow$  B-III):

Eine Hydroxylgruppe in B-II wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe PG<sup>12</sup> kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für PG<sup>8</sup> im Schritt a (A-II  $\Rightarrow$  A-III) genannt wurden, in Frage.

Bevorzugt sind Silizium haltige Schutzgruppen, die unter sauren Reaktionsbedingungen oder Anwendung von Fluorid gespalten werden können, wie z.B. der Trimethylsilyl-,

Triethylsilyl-, tert.-Butyldimethylsilyl-, tert.-Butyldiphenylsilyl-, Tribenzylsilyl-,  
Triisopropylsilyl-Rest.

Besonders bevorzugt ist der tert.-Butyldimethylsilyl-Rest.

5 Schritt b (B-III  $\Rightarrow$  B-IV):

Die freie Hydroxylgruppe in B-III wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden in eine Abgangsgruppe LG überführt. Als Abgangsgruppe LG eignen sich beispielsweise Halogene wie z.B. Brom oder Iod oder Alkyl- bzw. Arylsulfonate, die aus den entsprechenden Sulfonsäurehalogeniden bzw. Sulfonsäureanhydriden nach den, dem

10 Fachmann bekannten Methoden hergestellt werden.

Als Abgangsgruppe LG bevorzugt ist das Trifluormethansulfonat.

Schritt c (B-IV  $\Rightarrow$  B-VII):

Die Verbindung B-IV wird mit dem Enolat einer Carbonylverbindung der allgemeinen Formel B-V, worin  $\text{chG}^2$  eine einfache Alkoxygruppe oder aber eine chirale Hilfsgruppe sein kann, nach den, dem Fachmann bekannten Methoden alkyliert. Das Enolat wird durch Einwirkung starker Basen wie z.B. Lithiumdiisopropylamid, Lithiumhexamethyldisilazan bei niedrigen Temperaturen hergestellt. Als chirale Hilfsgruppe  $\text{chG}^2\text{-H}$  (B-VI) eignen sich chirale, optisch rein herstellbare und wohlfeile

15 Alkohole wie z.B. Pulegol, 2-Phenylcyclohexanol, 2-Hydroxy-1,2,2-triphenylethanol, 8-Phenylmenthol oder optisch rein herstellbare und wohlfeile, reaktive NH-Gruppen enthaltende Verbindungen wie z.B. Amine, Aminosäuren, Lactame oder Oxazolidinone. Bevorzugt sind Oxazolidinone, besonders bevorzugt die Verbindungen der Formeln B-VIa bis B-VId. Durch die Wahl des jeweiligen Antipoden wird die absolute Stereochemie

20 am  $\alpha$ -Carbonylkohlenstoff der Verbindung der allgemeinen Formel B-VII festgelegt. Auf diesem Wege lassen sich die Verbindungen der allgemeinen Formeln B-VII bis B-XVII bzw. deren jeweilige Enantiomere ent-B-VII bis ent-B-XVII enantiomerenrein erhalten. Wird als  $\text{chG}^2\text{-H}$  (B-VI) ein achiraler Alkohol wie z.B. Ethanol eingesetzt, so erhält man die racemischen Verbindungen rac-B-VII bis rac-B-XVII.

30

Schritt d (B-VII  $\Rightarrow$  B-VIII):

Repräsentiert die Gruppe  $\text{chG}^2$  eine der unter Schritt c erwähnten chiralen Hilfsgruppen, so wird diese durch Umesterung von B-VII in einen Alkylester der allgemeinen Formel B-VIII wiedergewonnen. Die Umesterung erfolgt nach den, dem Fachmann bekannten

35 Methoden. Bevorzugt ist die Umesterung mit einfachen Alkoholen wie z.B. Methanol oder Ethanol in Gegenwart entsprechender Titan(IV)alkoholate.

Schritt e (B-VIII  $\Rightarrow$  B-IX):

Der Ester in B-VIII wird zum Alkohol B-IX reduziert. Als Reduktionsmittel eignen sich die, dem Fachmann bekannten Reduktionsmittel wie z.B. Aluminiumhydride wie z.B. Lithiumaluminiumhydrid oder Diisobutylaluminiumhydrid. Die Reaktion erfolgt in einem inerten Lösungsmittel wie z.B. Diethylether, Tetrahydrofuran, Toluol.

Schritt e (B-VII  $\Rightarrow$  B-IX):

Alternativ zu den Schritten d) und e) kann die Carbonylgruppe in B-VII nach den unter Schritt e) genannten Bedingungen direkt zu den Alkoholen der allgemeinen Formel B-IX reduziert werden. Auch hier kann die chirale Hilfskomponente  $\text{chG}^2\text{-H}$  wiedergewonnen werden.

Schritt f (B-IX  $\Rightarrow$  B-X):

Für den Fall, das  $\text{R}^3$  kein Wasserstoffatom ist, wird zunächst die primäre Hydroxygruppe in B-IX nach den, dem Fachmann bekannten Methoden zum entsprechenden Aldehyd oxidiert. Beispielsweise genannt sei die Oxidation mit Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat, Chromtrioxid-Pyridin-Komplex, die Oxidation nach Swern oder verwandter Methoden z.B. unter Verwendung von Oxalylchlorid in Dimethylsulfoxid, die Verwendung des Dess-Martin-Periodinans, die Verwendung von Stickstoffoxiden wie z.B. N-Methyl-morpholino-N-oxid in Gegenwart geeigneter Katalysatoren wie z.B. Tetrapropylammoniumperruthenat in inerten Lösungsmitteln. Bevorzugt ist die Oxidation nach Swern sowie mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

Anschließend können die so erhaltenen Aldehyde zu entsprechenden Alkoholen mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel  $\text{M-R}^3$ , worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall MX, worin X ein Halogen repräsentiert und der Rest  $\text{R}^3$  die oben genannten Bedeutungen aufweist. Als zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

Die freie Hydroxylgruppe des so erhaltenen sekundären Alkohols ( $\text{R}^3 \neq \text{H}$ ) oder für den Fall  $\text{R}^3 = \text{H}$  die freie Hydroxylgruppe in B-IX wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe  $\text{PG}^{13}$  kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für  $\text{PG}^8$  im Schritt a ( $\text{A-II} \Rightarrow \text{A-III}$ ) genannt wurden, in Frage.

Bevorzugt sind solche Schutzgruppen, die unter sauren Reaktionsbedingungen gespalten werden können, wie z.B. der Methoxymethyl-, Tetrahydropyranyl-, Tetrahydrofuranyl-, Trimethylsilyl-Rest.

Besonders bevorzugt ist der Tetrahydropyranyl-Rest.

Schritt g ( $B-X \Rightarrow B-XI$ ):

Die unter Schritt a) eingeführte Schutzgruppe  $PG^{12}$  wird nun nach den, dem Fachmann bekannten Verfahren gespalten. Handelt es sich um einen Silylether, so eignet sich für die Spaltung die Umsetzung mit Fluoriden wie beispielsweise Tetrabutylammoniumfluorid, dem Fluorwasserstoff-Pyridin-Komplex, Kaliumfluorid oder die Anwendung verdünnter Mineralsäuren, die Verwendung von katalytischen Mengen Säuren wie z.B. para-Toluolsulfonsäure, para-Toluolsulfonsäure-pyridiniumsalz, Camphersulfonsäure in alkoholischen Lösungen, vorzugsweise in Ethanol oder Isopropanol.

10

Schritt h ( $B-XI \Rightarrow B-XII$ ):

Für den Fall, das  $R^{25}$  kein Wasserstoffatom ist, wird zunächst die primäre Hydroxygruppe in B-XI nach den, dem Fachmann bekannten Methoden zum entsprechenden Aldehyd oxidiert. Beispielsweise genannt sei die Oxidation mit Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat, Chromtrioxid-Pyridin-Komplex, die Oxidation nach Swern oder verwandter Methoden z.B. unter Verwendung von Oxalylchlorid in Dimethylsulfoxid, die Verwendung des Dess-Martin-Periodinans, die Verwendung von Stickstoffoxiden wie z.B. N-Methyl-morpholino-N-oxid in Gegenwart geeigneter Katalysatoren wie z.B. Tetrapropylammoniumperruthenat in inerten Lösungsmitteln. Bevorzugt ist die Oxidation nach Swern sowie mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

15

Anschließend können die so erhaltenen Aldehyde zu entsprechenden Alkoholen mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel  $M-R^{25}$ , worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall MX, worin X ein Halogen repräsentiert und der Rest  $R^{25}$  die oben genannten Bedeutungen aufweist. Als zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

25

Gegebenenfalls wird die freie primäre Hydroxylgruppe nach den dem Fachmann bekannten Verfahren in ein Halogenid überführt. Bevorzugte Halogenide sind Chlor, besonders aber Brom und Iod. Die Substitution der Hydroxylgruppe gegen ein Brom kann z.B. mittels Triphenylphosphin/Tetrabrommethan aber auch nach jedem anderen dem Fachmann bekannten Verfahren erfolgen. Die Etablierung eines Iodatoms kann aus dem Bromid durch Substitution z.B. nach Finkelstein mit Natriumiodid in Aceton erfolgen. Auch die direkte Überführung der Hydroxylgruppe in das Iodid ist möglich, z.B. unter Verwendung von elementarem Iod, Imidazol und Triphenylphosphin in Dichlormethan.

30

Schritt i ( $B-XII \Rightarrow B-XIII$ ):

Soll die Verknüpfung der C13-C16-Einheit mit der Position 12 des Epothilonrestes bzw. von Epothilonbruchstücken, z.B. einer C7-C12-Einheit durch Wittigreaktion erfolgen, wie

z.B. in Nature Vol. 387, 268-272 (1997) beschrieben, so werden ausgehend von den Halogeniden B-XII nach den dem Fachmann bekannten Verfahren die Triphenylphosphonium-halogenide ( $R^{17} = P(Ph)_3^+Hal^-$ ), Alkyl- bzw. Arylphosphonate ( $R^{17} = P(O)(OQ)_2$ ) oder Phosphinoxide ( $R^{17} = P(O)Ph_2$ ) des Typs B-XII hergestellt. Ph bedeutet dabei Phenyl; Hal steht für F, Cl, Br oder I und Q ist ein C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl- oder Phenylrest.

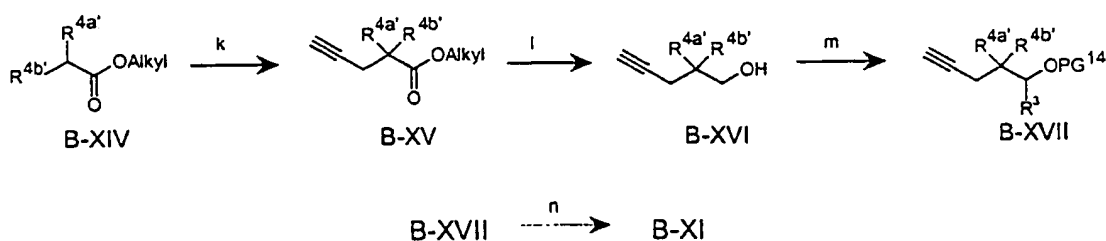
Zur Darstellung der Phosphoniumsalze eignet sich z.B. die Umsetzung der entsprechenden Halogenide mit Triphenylphosphin in Lösungsmitteln wie Toluol oder Benzol gegebenenfalls in Gegenwart einer Base wie beispielsweise Triethylamin oder Diisopropylethylamin.

Die Darstellung der Phosphonate kann z.B. durch Reaktion der Halogenide B-XI mit einem metallierten Dialkylphosphit erfolgen. Die Metallierung erfolgt üblicherweise mit starken Basen wie z.B. Butyllithium.

Die Darstellung der Phosphinoxide kann z.B. durch Umsetzung der Halogenide B-XI mit metalliertem Diphenylphosphin und anschließender Oxidation erfolgen. Für die Metallierung eignen sich ebenfalls starke Basen wie Butyllithium. Die anschließende Oxidation zum Phosphinoxid kann dann z.B. mit verdünnter wässriger Wasserstoffperoxid-Lösung erfolgen.

Alternativ können die Verbindungen der allgemeinen Formel B-XIII über den in Schema 5 beschriebenen Weg hergestellt werden.

Schema 5



Schritt k ( $B-XIV \Rightarrow B-XV$ ):

Ausgehend von wohlfeil erhältlichen Essigesterderivaten der allgemeinen Formel B-XIV, in denen  $R^{4a'}$  und  $R^{4b'}$  die oben genannten Bedeutungen haben, wird das Esterenolat durch Einwirkung starker Basen wie z.B. Lithiumdiisopropylamid, Lithiumhexamethyldisilazan bei niedrigen Temperaturen hergestellt und mit 3-Halogen-1-propin, vorzugsweise 3-Brom-1-propin zu Verbindungen der allgemeinen Formel B-XV umgesetzt.



Schritt l (B-XV  $\Rightarrow$  B-XVI):

Die Reduktion des Esters B-XV zum Alkohol B-XVI erfolgt nach den unter Schritt e) beschriebenen Methoden, vorzugsweise unter Verwendung von Diisobutylaluminiumhydrid.

5

Schritt m (B-XVI  $\Rightarrow$  B-XVII):

Für den Fall, das R<sup>3</sup> kein Wasserstoffatom ist, wird zunächst die primäre Hydroxygruppe in B-XVI nach den, dem Fachmann bekannten Methoden zum entsprechenden Aldehyd oxidiert. Beispielsweise genannt sei die Oxidation mit Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat, Chromtrioxid-Pyridin-Komplex, die Oxidation nach Swern oder verwandter Methoden z.B. unter Verwendung von Oxalylchlorid in Dimethylsulfoxid, die Verwendung des Dess-Martin-Periodinans, die Verwendung von Stickstoffoxiden wie z.B.

10

N-Methyl-morpholino-N-oxid in Gegenwart geeigneter Katalysatoren wie z.B. Tetrapropylammoniumperruthenat in inerten Lösungsmitteln. Bevorzugt ist die Oxidation nach Swern sowie mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

15

Anschließend können die so erhaltenen Aldehyde zu entsprechenden Alkoholen mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel M-R<sup>3</sup>, worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall MX, worin X ein Halogen repräsentiert und der Rest R<sup>3</sup> die oben genannten Bedeutungen aufweist. Als zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

20

Die freie Hydroxylgruppe des so erhaltenen sekundären Alkohols (R<sup>3</sup>  $\neq$  H) oder für den Fall R<sup>3</sup> = H die freie Hydroxylgruppe in B-XVII wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe PG<sup>14</sup> kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für PG<sup>8</sup> im Schritt a (A-II  $\Rightarrow$  A-III) genannt wurden, in Frage.

25

Bevorzugt sind Silizium haltige Schutzgruppen, die unter sauren Reaktionsbedingungen oder Anwendung von Fluorid gespalten werden können, wie z.B. der Trimethylsilyl-, Triethylsilyl-, tert.-Butyldimethylsilyl-, tert.-Butyldiphenylsilyl-, Tribenzylsilyl-, Triisopropylsilyl-Rest.

30

Besonders bevorzugt ist der tert.-Butyldimethylsilyl-Rest.

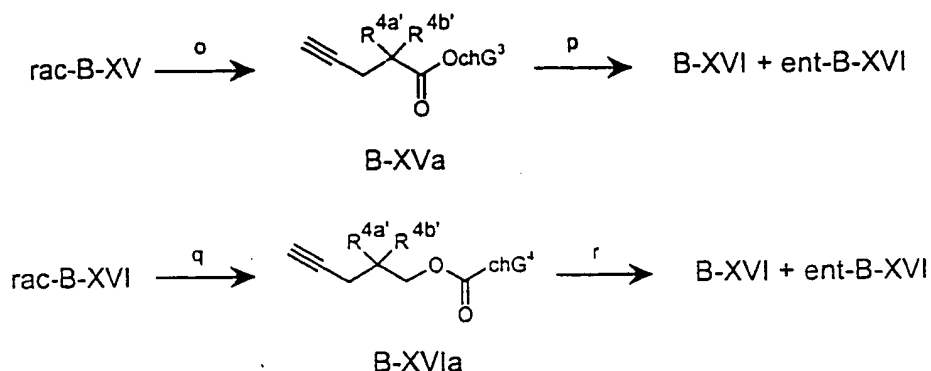
Schritt n (B-XVII  $\Rightarrow$  B-XI):

Das Acetylen B-XVII kann nach den, dem Fachmann bekannten Verfahren deprotoniert und das erhaltene Acetylid mit Formaldehyd zu einem Alkohol der allgemeinen Formel B-XI umgesetzt werden. Zur Deprotonierung eignen sich Alkylalkaliverbindungen wie z.B. Butyllithium oder andere starke Basen wie z.B. Alkaliexamethyldisilazane oder Lithiumdiisopropylamid. Bevorzugt wird n-Butyllithium.

35

Auf dem in Schema 5 beschriebenen Weg werden zunächst die racemischen Verbindungen rac-B-XI erhalten. Optional bieten die durchlaufenen Stufen rac-B-XV bzw. rac-B-XVI gemäß Schema 6 die Möglichkeit zur chemischen Racematspaltung und somit auch einen Zugang zu den enantiomerenreinen Verbindungen B-XVI bzw. ent-B-XVI, sofern  $R^{4a'}$  nicht identisch ist mit  $R^{4b'}$ .

Schema 6



Schritt o ( $\text{rac-B-XV} \Rightarrow \text{B-XVa}$ ):

Die racemische Verbindung rac-B-XV lässt sich mit einem chiralen, optisch rein erhältlichen Alkohol  $\text{chG}^3\text{-OH}$  nach den, dem Fachmann bekannten Methoden, beispielsweise dem unter Schritt d) genannten Verfahren zu einem Gemisch der diastereomeren Ester B-XVa umestern und mit einfachen chromatographischen Methoden trennen. Als chirale Alkohole kommen beispielsweise Pulegol, 2-Phenylcyclohexanol, 2-Hydroxy-1,2,2-triphenylethanol, 8-Phenylmenthol in Betracht.

Schritt p ( $\text{B-XVa} \Rightarrow \text{B-XVI}$  und  $\text{ent-B-XVI}$ ):

Die diastereomereinreinen Ester B-XVa lassen sich jeweils nach dem unter Schritt e) beschriebenen Verfahren zu den Alkoholen B-XVI bzw. ent-B-XVI reduzieren, wobei die unter Schritt o beschriebene Hilfskomponente  $\text{chG}^3\text{-OH}$  wiedergewonnen werden kann.

Schritt q ( $\text{rac-B-XVI} \Rightarrow \text{B-XVIa}$ ):

Die racemische Verbindung rac-B-XVI lässt sich mit einer chiralen, optisch rein erhältlichen Säure  $\text{chG}^4\text{-CO}_2\text{H}$ , deren Ester, Anhydrid oder Säurehalogenid nach den, dem Fachmann bekannten Methoden zu einem Gemisch der diastereomeren Ester B-XVIa umsetzen und mit einfachen chromatographischen Methoden trennen. Als chirale Säuren kommen beispielsweise Äpfelsäure, Weinsäure bzw. deren Derivate in Betracht.

Schritt r (B-XVIa  $\Rightarrow$  B-XVI und ent-B-XVI):

Die diastereomereinreinen Ester B-XVIa lassen sich jeweils nach dem unter Schritt e beschriebenen Verfahren zu den Alkoholen B-XVI bzw. ent-B-XVI reduzieren, oder nach den, dem Fachmann bekannten Methoden verseifen wobei im letztgenannten Fall die unter Schritt u beschriebene Hilfskomponente  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  wiedergewonnen werden kann.

Darstellung der Teilfragmente C (siehe auch WO 99/07692):

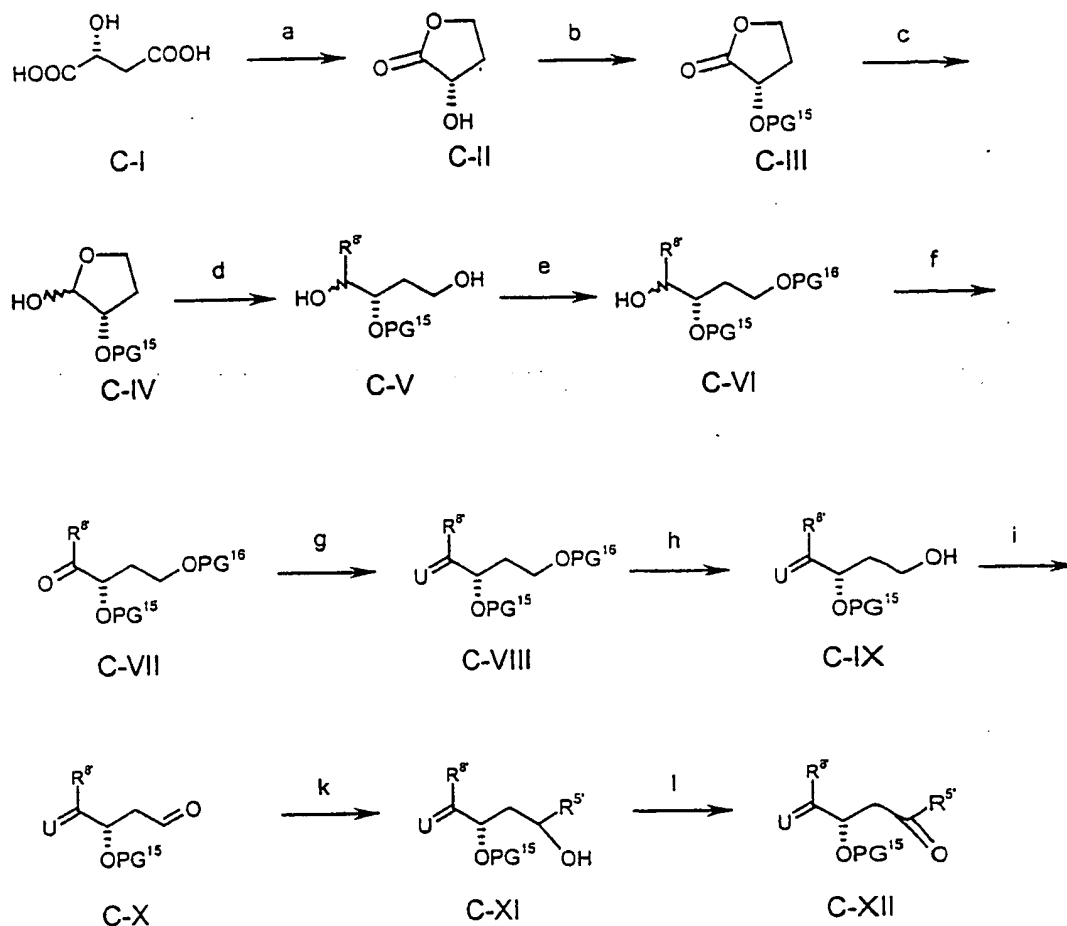
10

Teilfragmente der Formel C können aus wohlfeiler, preiswert erhältlicher Äpfelsäure in effizienter Weise mit hoher optischer Reinheit ( $>99.5\%$  ee) hergestellt werden.

15

Die Synthese wird im folgenden Schema 7 am Beispiel der L-(-)-Äpfelsäure (C-I) beschrieben. Ausgehend von D-(+)-Äpfelsäure (ent-C-I) erhält man die entsprechenden enantiomeren Verbindungen (ent-C-II bis ent-C-XI) und ausgehend von racemischer Äpfelsäure (rac-C-I) die entsprechenden racemischen Verbindungen (rac-C-II bis rac-C-XI).

Schema 7



5

Schritt a (Äpfelsäure C-I  $\Rightarrow$  C-II):

L-(-)-Äpfelsäure wird nach einem literaturbekannten Verfahren (Liebigs Ann. Chem. 1993, 1273-1278) in das Hydroxylacton C-II überführt.

10

Schritt b (C-II  $\Rightarrow$  C-III):

Die freie Hydroxygruppe in Verbindung C-II wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden geschützt. Als Schutzgruppe PG<sup>15</sup> kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für PG<sup>8</sup> im Schritt a (A-II  $\Rightarrow$  A-III) genannt wurden, in Frage.

15

Bevorzugt sind solche Schutzgruppen, die unter Einwirkung von Fluorid gespalten werden können, aber unter schwach sauren Reaktionsbedingungen stabil sind, wie z.B. der tert.-Butyldiphenylsilyl-, tert.-Butyldimethylsilyl-, oder Triisopropylsilyl-Rest.

Besonders bevorzugt sind der tert.-Butyldiphenylsilyl- und der tert.-Butyldimethylsilyl-Rest.

Schritt c (C-III  $\Rightarrow$  C-IV):

- 5 Das Lacton C-III wird zum Lactol C-IV nach den dem Fachmann bekannten Methoden reduziert. Als Reduktionsmittel eignen sich in ihrer Reaktivität modifizierte Aluminiumhydride wie z.B. Diisobutylaluminiumhydrid. Die Reaktion erfolgt in einem inerten Lösungsmittel wie z.B. Toluol, vorzugsweise bei niedrigen Temperaturen (-20 bis -100°C).

10

Schritt d (C-IV  $\Rightarrow$  C-V):

- Die Umsetzung des Lactols C-IV zu Verbindungen der Formel C-V erfolgt mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel  $M-R^{8'}$  worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall MX steht, worin X ein Halogen repräsentiert und  $R^{8'}$  die oben genannten Bedeutungen aufweist. Als 15 zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

Schritt e (C-V  $\Rightarrow$  C-VI):

- 20 Die primäre Hydroxylgruppe in Verbindung C-V wird nach den, dem Fachmann bekannten Methoden selektiv gegenüber der sekundären Hydroxylgruppe geschützt. Als Schutzgruppe  $PG^{16}$  kommen die, dem Fachmann bekannten Schutzgruppen, wie sie schon vorstehend für  $PG^8$  im Schritt a (A-II  $\Rightarrow$  A-III) genannt wurden, in Frage. Bevorzugt sind solche Schutzgruppen, die unter schwach sauren Reaktionsbedingungen 25 gespalten werden können, wie z.B. der Trimethylsilyl-, Triethylsilyl-, -tert.-Butyldimethylsilyl-Rest. Besonders bevorzugt ist der tert.-Butyldimethylsilyl-Rest.

Schritt f (C-VI  $\Rightarrow$  C-VII):

- 30 Die Oxidation des sekundären Alkohols in C-VI zum Keton C-VII erfolgt nach den, dem Fachmann bekannten Methoden. Beispielsweise genannt sei die Oxidation mit Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat, Chromtrioxid-Pyridin-Komplex, die Oxidation nach Swern oder verwandter Methoden z.B. unter Verwendung von Oxalylchlorid in Dimethylsulfoxid, die Verwendung des Dess-Martin-Periodinans, die 35 Verwendung von Stickstoffoxiden wie z.B. N-Methyl-morpholino-N-oxid in Gegenwart geeigneter Katalysatoren wie z.B. Tetrapropylammoniumperruthenat in inerten Lösungsmitteln. Bevorzugt ist die Oxidation nach Swern.

Schritt g (C-VII  $\Rightarrow$  C-VIII):

Für Verbindungen in denen U gleich  $CR^{11'}R^{12'}$  ist, wird diese Gruppierung nach den dem Fachmann bekannten Verfahren etabliert. Hierzu eignen sich Methoden wie z.B. die Wittig- oder Wittig/Horner-Reaktion, die Addition einer metallorganischen Verbindung  $MCHR^{11'}R^{12'}$  unter Abspaltung von Wasser. Bevorzugt ist die Wittig- und Wittig/Horner-Reaktion unter Verwendung von Phosphoniumhalogeniden des Typs  $CR^{11'}R^{12'}P(Ph)_3^+Hal^-$  oder Phosphonaten des Typs  $CR^{11'}R^{12'}P(O)(OAlkyl)_2$  mit Ph gleich Phenyl,  $R^{11'}$ ,  $R^{12'}$  und Halogen in den bereits genannten Bedeutungen mit starken Basen wie z.B. n-Butyllithium, Kalium-tert.-butanolat, Natriumethanolat, Natriumhexamethyldisilazan; als Base bevorzugt ist n-Butyllithium.

Für Verbindungen, in denen U zwei Alkoxygruppen  $OR^9$  oder eine  $C_2-C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe darstellt, wird das Keton nach den dem Fachmann bekannten Methoden beispielsweise unter Verwendung eines Alkohols  $HOR^9$  oder eines  $C_2-C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -diols unter Säurekatalyse ketalisiert.

Schritt h (C-VIII  $\Rightarrow$  C-IX):

Die unter e eingeführte Schutzgruppe  $PG^{16}$  wird nun nach den dem Fachmann bekannten Verfahren selektiv in Gegenwart von  $PG^{15}$  gespalten. Handelt es sich um eine sauer abspaltbare Schutzgruppe so erfolgt die Spaltung bevorzugt unter schwach sauren Bedingungen, wie z.B. durch Umsetzung mit verdünnten organischen Säuren in inerten Lösungsmittel. Bevorzugt ist Essigsäure.

Schritt i (C-IX  $\Rightarrow$  C-X):

Die Oxidation des primären Alkohols in C-IX zum Aldehyd der allgemeinen Formel C-X erfolgt nach den, dem Fachmann bekannten Verfahren. Beispielsweise genannt sei die Oxidation mit Pyridiniumchlorochromat, Pyridiniumdichromat, Chromtrioxid-Pyridin-Komplex, die Oxidation nach Swern oder verwandter Methoden z.B. unter Verwendung von Oxalylchlorid in Dimethylsulfoxid, die Verwendung des Dess-Martin-Periodinans, die Verwendung von Stickstoffoxiden wie z.B. N-Methyl-morpholino-N-oxid in Gegenwart geeigneter Katalysatoren wie z.B. Tetrapropylammoniumperruthenat in inerten Lösungsmitteln. Bevorzugt ist die Oxidation nach Swern sowie mit N-Methyl-morpholino-N-oxid unter Verwendung von Tetrapropylammoniumperruthenat.

Schritt k (C-X  $\Rightarrow$  C-XI):

Die Umsetzung der Aldehyde C-X zu Alkoholen der allgemeinen Formel C-XI erfolgt nach den, dem Fachmann bekannten Methoden mit metallorganischen Verbindungen der allgemeinen Formel  $M-R^{5'}$ , worin M für ein Alkalimetall, vorzugsweise Lithium oder ein zweiwertiges Metall  $MX$ , worin X ein Halogen repräsentiert und der Rest  $R^{5'}$  die oben

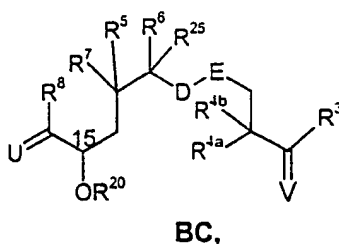
genannte Bedeutung aufweist. Als zweiwertiges Metall ist bevorzugt Magnesium und Zink, als Halogen X ist bevorzugt Chlor, Brom und Iod.

Schritt I ( $C-XI \Rightarrow C-XII$ ):

- 5 Die Oxidation des Alkohols C-XI zum Keton der allgemeinen Formel C-XII erfolgt nach den unter k) genannten Verfahren oder durch Jones-Oxidation. Bevorzugt ist die Oxidation nach Jones.

- 10 Darstellung der Teilfragmente ABC und deren Zyklisierung zu I:

Teilfragmente der allgemeinen Formel AB

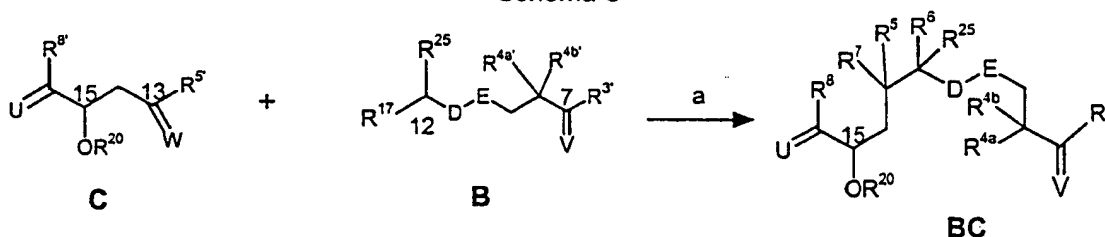


15

worin  $R^3$ ,  $R^{4a}$ ,  $R^{4b}$ ,  $R^5$ ,  $R^6$ ,  $R^{25}$ ,  $R^7$ ,  $R^{20}$ , D, E, U und V die bereits genannten Bedeutungen haben, werden aus den zuvor beschriebenen Fragmenten B und C nach dem in Schema 8 gezeigten Verfahren erhalten.

20

Schema 8

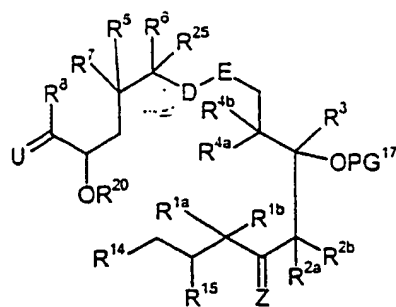


Schritt a ( $B + C \Rightarrow BC$ ):

Die Verbindung B, in der  $R^{17}$  die Bedeutung eines Wittigsalzes hat und eventuell vorhandene zusätzliche Carbonylgruppen geschützt sind, wird durch eine geeignete Base wie z.B. n-Butyllithium, Lithiumdiisopropylamid, Kalium-tert.butanolat, Natrium- oder Lithium-hexamethyldisilazid deprotoniert und mit einer Verbindung C, worin W die Bedeutung eines Sauerstoffatoms hat, umgesetzt.

25

Teilfragmente der allgemeinen Formel ABC

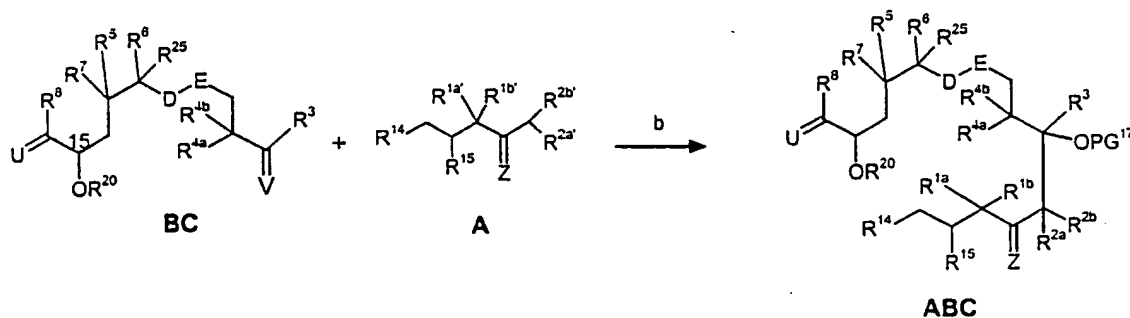


ABC,

- 5 worin R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>14</sup>, R<sup>15</sup>, D, E, U und Z die bereits genannten Bedeutungen haben, werden aus den zuvor beschriebenen Fragmenten AB und C nach dem in Schema 9 gezeigten Verfahren erhalten.

Schema 9

10



Schritt b (BC + A  $\Rightarrow$  ABC):

- 15 Die Verbindung BC, worin V die Bedeutung eines Sauerstoffatoms hat und eventuell vorhandene zusätzliche Carbonylgruppen geschützt sind, wird mit dem Enolat einer Carbonylverbindung der allgemeinen Formel A, worin Z die Bedeutung eines Sauerstoffatoms hat, alkyliert. Das Enolat wird durch Einwirkung starker Basen wie z.B. Lithiumdiisopropylamid, Lithiumhexamethyldisilazan bei niedrigen Temperaturen  
20 hergestellt.

Schritt c (ABC  $\Rightarrow$  I):

- Die Verbindungen ABC, in denen R<sup>14</sup> eine Carbonsäure CO<sub>2</sub>H und R<sup>20</sup> ein Wasserstoffatom darstellt, setzt man nach den, dem Fachmann bekannten Methoden für  
25 die Bildung großer Macrolide zu Verbindungen der Formel I, in denen Y die Bedeutung



eines Sauerstoffatoms besitzt, um. Bevorzugt wird die in "Reagents for Organic Synthesis, Vol. 16, p 353" beschriebene Methode unter Verwendung von 2,4,6-Trichlorbenzoesäurechlorid und geeigneten Basen wie z.B. Triethylamin, 4-Dimethylaminopyridin, Natriumhydrid.

5

Schritt d ( $ABC \Rightarrow I$ ):

Die Verbindungen ABC, in denen  $R^{14}$  eine Gruppe  $CH_2OH$  und  $R^{20}$  ein Wasserstoffatom darstellt, lassen sich vorzugsweise unter Verwendung von Triphenylphosphin und Azodiestern wie beispielsweise Azodicarbonsäurediethylester zu Verbindungen der Formel I, in denen Y die Bedeutung zweier Wasserstoffatome hat, umsetzen.

10

Die Verbindungen ABC, in denen  $R^{14}$  eine Gruppe  $CH_2OSO_2Alkyl$  oder  $CH_2OSO_2Aryl$  oder  $CH_2OSO_2Aralkyl$  und  $R^{20}$  ein Wasserstoffatom darstellt, lassen sich nach Deprotonierung mit geeigneten Basen wie beispielsweise Natriumhydrid, n-Butyllithium, 4-Dimethylaminopyridin, Hünig-Base, Alkylhexamethyldisilazanen zu Verbindungen der Formel I, in denen Y die Bedeutung zweier Wasserstoffatome hat, zyklisieren.

15

Die Erfindung betrifft auch dieses Verfahren zur Herstellung der Verbindungen der allgemeinen Formel I sowie die neuen Zwischenprodukte der allgemeinen Formeln B, C, BC und ABC einschließlich aller Stereoisomeren dieser Verbindungen und auch deren Gemische.

20

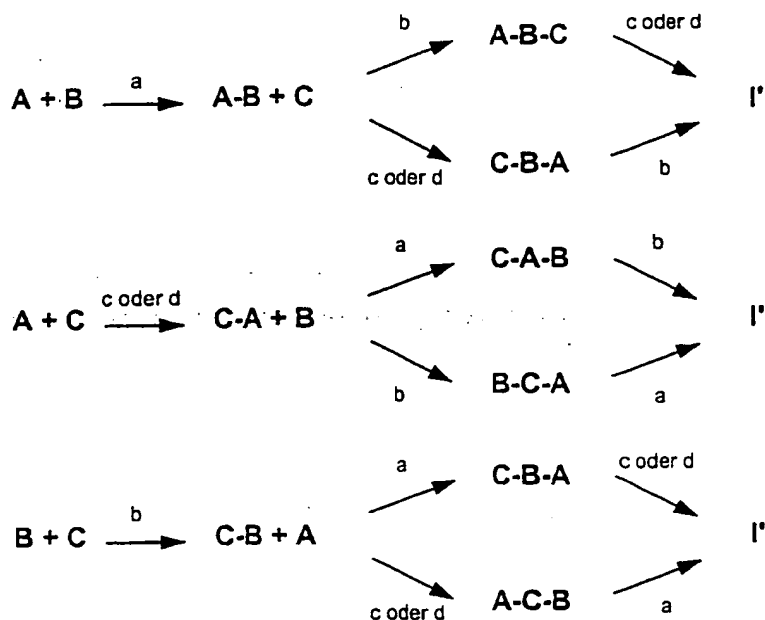
Die flexible Funktionalisierung der beschriebenen Bausteine A, B und C gewährleistet auch eine von dem oben beschriebenen Verfahren abweichende Verknüpfungsreihenfolge, die zu den Bausteinen ABC führt. Diese Verfahren sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

5

Verknüpfungsmöglichkeiten	Verknüpfungsmethoden a bis d	Voraussetzungen
$A + B \Rightarrow A-B$	a: Aldol	$Z = V = \text{Sauerstoff}$
$B + C \Rightarrow B-C$	B: Wittig (Schema 8)	$W = \text{Sauerstoff}$ und $R^{17} = \text{Wittigsalz}$ oder Phosphinoxid oder Phosphonat
$A + C \Rightarrow A-C$	c: Veresterung (z. B. 2,4,6-Trichlorbenzoylchlorid / 4-Dimethylaminopyridin) d: Veretherung (z.B. Mitsunobu)	$R^{14} = \text{CO}_2R^{14b}$ oder $\text{COHal}$ und $R^{20} = \text{Wasserstoff}$  $R^{14} = \text{CH}_2\text{OH}$ und $R^{20} = \text{Wasserstoff}$ oder $\text{SO}_2\text{-Alkyl}$ oder $\text{SO}_2\text{-Aryl}$ oder $\text{SO}_2\text{-Aralkyl}$

Nach diesen Verfahren lassen sich die Bausteine A, B und C, wie in Schema 10 angegeben, verknüpfen:

Schema 10



Freie Hydroxylgruppen in I, A, B, C, AB, ABC können durch Veretherung oder Veresterung, freie Carbonylgruppen durch Ketalisierung, Enoletherbildung oder Reduktion weiter funktionell abgewandelt sein.

Die Erfindung betrifft auch diese Verfahren zur Herstellung der Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel.

Biologische Wirkungen und Anwendungsbereiche der neuen Derivate:

- Die neuen Verbindungen der Formel I sind wertvolle Pharmaka. Sie interagieren mit Tubulin, indem sie gebildete Mikrotubuli stabilisieren und sind somit in der Lage, die Zellteilung phasenspezifisch zu beeinflussen. Dies betrifft vor allem schnell wachsende, neoplastische Zellen, deren Wachstum durch interzelluläre Regelmechanismen weitgehend unbeeinflusst ist. Wirkstoffe dieser Art sind prinzipiell geeignet zur Behandlung maligner Tumoren. Als Anwendungsbereich seien beispielweise genannt die Therapie von Ovarial-, Magen-, Colon-, Adeno-, Brust-, Lungen-, Kopf- und Nacken-Karzinomen, dem malignen Melanom, der akuten lymphozytären und myelocytären Leukämie. Die erfindungsgemäßen Verbindungen eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften prinzipiell zur Anti-Angiogenese-Therapie sowie zur Behandlung chronischer entzündlicher Erkrankungen wie beispielsweise der Psoriasis oder der Arthritis. Zur Vermeidung unkontrollierter Zellwucherungen an sowie der besseren Verträglichkeit von medizinischen Implantaten lassen sie sich prinzipiell in die hierfür verwendeten polymeren Materialien auf- bzw. einbringen. Die erfindungsgemäßen Verbindungen können alleine oder zur Erzielung additiver oder synergistischer Wirkungen in Kombination mit weiteren in der Tumorthherapie anwendbaren Prinzipien und Substanzklassen verwendet werden.
- Als Beispiele seien genannt die Kombination mit
- ⇒ Platinkomplexen wie z.B. Cisplatin, Carboplatin,
  - ⇒ interkalierenden Substanzen z.B. aus der Klasse der Anthracycline wie z.B. Doxorubicin oder aus der Klasse der Antrapyrazole wie z.B. CI-941,
  - ⇒ mit Tubulin interagierenden Substanzen z.B. aus der Klasse der Vinka-Alkaloide wie z.B. Vincristin, Vinblastin oder aus der Klasse der Taxane wie z.B. Taxol, Taxotere oder aus der Klasse der Makrolide wie z.B. Rhizoxin oder andere Verbindungen wie z.B. Colchicin, Combretastatin A-4,
  - ⇒ DNA Topoisomeraseinhibitoren wie z.B. Camptothecin, Etoposid, Topotecan, Teniposid,
  - ⇒ Folat- oder Pyrimidin-Antimetaboliten wie z.B. Lometrexol, Gemcitabin,
  - ⇒ DNA alkylierenden Verbindungen wie z.B. Adozelesin, Dystamycin A,
  - ⇒ Inhibitoren von Wachstumsfaktoren (z.B. von PDGF, EGF, TGF $\beta$ , EGF) wie z.B. Somatostatin, Suramin, Bombesin-Antagonisten,
  - ⇒ Inhibitoren der Protein Tyrosin Kinase oder der Protein Kinasen A oder C wie z.B. Erbstatin, Genistein, Staurosporin, Ilmofofin, 8-Cl-cAMP,
  - ⇒ Antihormonen aus der Klasse der Antigestagene wie z.B. Mifepriston, Onapriston oder aus der Klasse der Antiöstrogene wie z.B. Tamoxifen oder aus der Klasse der Antiandrogene wie z.B. Cyproteronacetat,

- ⇒ Metastasen inhibierenden Verbindungen z.B. aus der Klasse der Eicosanoide wie z.B.  $\text{PGI}_2$ ,  $\text{PGE}_1$ ,  $\delta\text{-Oxo-PGE}_1$  sowie deren stabiler Derivate (z.B. Iloprost, Cicaprost, Misoprostol).
- ⇒ Inhibitoren onkogener RAS-Proteine, welche die mitotische Signaltransduktion beeinflussen wie beispielsweise Inhibitoren der Farnesyl-Protein-Transferase,
- ⇒ natürlichen oder künstlich erzeugten Antikörpern, die gegen Faktoren bzw. deren Rezeptoren, die das Tumorwachstum fördern, gerichtet sind wie beispielsweise der erbB2-Antikörper,

Die Erfindung betrifft auch Arzneimittel auf Basis der pharmazeutisch verträglichen, d.h. in den verwendeten Dosen nicht toxischen Verbindungen der allgemeinen Formel I, gegebenenfalls zusammen mit den üblichen Hilfs- und Trägerstoffen.

Die erfindungsgemäßen Verbindungen können nach an sich bekannten Methoden der Galenik zu pharmazeutischen Präparaten für die enterale, percutane, parenterale oder lokale Applikation verarbeitet werden. Sie können in Form von Tabletten, Dragees, Kapseln, Granulaten, Suppositorien, Implantaten, injizierbaren sterilen wäßrigen oder öligen Lösungen, Suspensionen oder Emulsionen, Salben, Cremes und Gelen verabreicht werden.

Der oder die Wirkstoffe können dabei mit den in der Galenik üblichen Hilfsstoffen wie z.B. Gummiarabikum, Talk, Stärke, Mannit, Methylcellulose, Laktose, Tensiden wie Tweens oder Myrj, Magnesiumstearat, wäßrigen oder nicht wäßrigen Trägern, Paraffinderivaten, Netz-, Dispergier-, Emulgier-, Konservierungsmitteln und Aromastoffen zur Geschmackskorrektur (z.B. etherischen Ölen) gemischt werden.

Die Erfindung betrifft somit auch pharmazeutische Zusammensetzungen, die als Wirkstoff zumindest eine erfindungsgemäße Verbindung enthalten. Eine Dosiseinheit enthält etwa 0,1-100 mg Wirkstoff(e). Die Dosierung der erfindungsgemäßen Verbindungen liegt beim Menschen bei etwa 0,1-1000 mg pro Tag.

Die nachfolgenden Beispiele dienen der näheren Erläuterung der Erfindung, ohne sie darauf einschränken zu wollen:

**Beispiel 1**

**(4S,7R,8S,9S,13(E),16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion**

**Beispiel 1a**

**(3S)-1-Oxa-2-oxo-3-(tetrahydropyran-2(RS)-yloxy)-4,4-dimethyl-cyclopentan**

Die Lösung von 74,1 g (569 mmol) D-(-)-Pantolacton in 1l wasserfreiem Dichlormethan versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon mit 102 ml 3,4-Dihydro-2H-pyran, 2 g p-Toluolsulfonsäure-Pyridiniumsalz und rührt 16 Stunden bei 23°C. Man gießt in eine gesättigte Natriumhydrogencarbonatlösung, trennt die organische Phase ab und trocknet über Natriumsulfat. Nach Filtration und Lösungsmittelabzug chromatographiert man den Rückstand an ca. 5 kg feinem Kieselgel mit einem Gemisch aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 119,6 g (558 mmol, 98%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 1,13 (3H), 1,22 (3H), 1,46-1,91 (6H), 3,50-3,61 (1H), 3,86 (1H), 3,92 (1H), 4,01 (1H), 4,16 (1H), 5,16 (1H) ppm.

**Beispiel 1b**

**(2RS,3S)-1-Oxa-2-hydroxy-3-(tetrahydropyran-2(RS)-yloxy)-4,4-dimethyl-cyclopentan**

Die Lösung von 117,5 g (548 mmol) der nach Beispiel 1a dargestellten Verbindung in 2,4 l wasserfreiem Toluol kühlt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon auf -70°C, versetzt innerhalb 1 Stunde mit 540 ml einer 1,2 molaren Lösung von Diisobutylaluminiumhydrid in Toluol und rührt noch 3 Stunden bei -70°C. Man läßt auf -20°C erwärmen, versetzt mit gesättigter Ammoniumchloridlösung, Wasser und trennt die ausgefallenen Aluminiumsalze durch Filtration über Celite ab. Das Filtrat wird mit Wasser und gesättigter Natriumchloridlösung gewaschen und über Magnesiumsulfat getrocknet. Isoliert werden nach Filtration und Lösungsmittelabzug 111,4 g (515 mmol, 94%) der Titelverbindung als farbloses Öl, das man ohne Reinigung weiter umsetzt.

IR (CHCl<sub>3</sub>): 3480, 3013, 2950, 2874, 1262, 1133, 1074, 1026 und 808 cm<sup>-1</sup>.

**Beispiel 1c**

**(3S)-2,2-Dimethyl-3-(tetrahydropyran-2(R)-yloxy)-pent-4-en-1-ol und (3S)-2,2-Dimethyl-3-(tetrahydropyran-2(S)-yloxy)-pent-4-en-1-ol**

Die Aufschlammung von 295 g Methyl-triphenylphosphoniumbromid in 2,5 l wasserfreiem Tetrahydrofuran versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon bei -60°C mit 313 ml einer 2,4 molaren Lösung von n-Butyllithium in n-Hexan, läßt auf 23°C erwärmen, eine Stunde nachrühren und kühlt auf 0°C. Man versetzt mit der Lösung von 66,2 g (306 mmol) der nach Beispiel 1b dargestellten Verbindung in 250 ml

Tetrahydrofuran, läßt auf 23°C erwärmen und 18 Stunden rühren. Man gießt in eine gesättigte Natriumhydrogencarbonatlösung, extrahiert mehrfach mit Dichlormethan und trocknet die vereinigten organischen Extrakte über Natriumsulfat. Nach Filtration und Lösungsmittelabzug chromatographiert man den Rückstand an ca. 5 l feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 36,5 g (170 mmol, 56%) des unpolaren, 14,4 g (67,3 mmol, 22%) des polaren THP-Isomeren der Titelverbindung, sowie 7,2 g (33,3 mmol; 11%) des Ausgangsmaterials jeweils als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>), unpolares Isomer: δ = 0,78 (3H), 0,92 (3H), 1,41-1,58 (4H), 1,63-1,87 (2H), 3,18 (1H), 3,41 (1H), 3,48 (1H), 3,68 (1H), 3,94 (1H), 4,00 (1H), 4,43 (1H), 5,19 (1H), 5,27 (1H), 5,75 (1H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>), polares Isomer: δ = 0,83 (3H), 0,93 (3H), 1,42-1,87 (6H), 2,76 (1H), 3,30 (1H), 3,45 (1H), 3,58 (1H), 3,83 (1H), 3,89 (1H), 4,65 (1H), 5,12-5,27 (2H), 5,92 (1H) ppm.

15

Beispiel 1d

**(3S)-1-(tert.-Butyldiphenylsilyloxy)-2,2-dimethyl-pentan-3-(tetrahydropyran-2-yloxy)-pent-4-en**

Die Lösung von 59,3 g (277 mmol) des nach Beispiel 1c dargestellten THP-Isomeren-Gemisches in 1000 ml wasserfreiem Dimethylformamid versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon mit 28 g Imidazol, 85 ml tert.-Butyldiphenylchlorsilan und rührt 16 Stunden bei 23°C. Man gießt in Wasser, extrahiert mehrfach mit Dichlormethan, wäscht die vereinigten organischen Extrakte mit Wasser und trocknet über Natriumsulfat. Nach Filtration und Lösungsmittelabzug chromatographiert man den Rückstand an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 106,7 g (236 mmol, 85%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0,89 (3H), 0,99 (3H), 1,08 (9H), 1,34-1,82 (6H), 3,40 (1H), 3,51 (2H), 3,76 (1H), 4,02 (1H), 4,67 (1H), 5,18 (1H), 5,23 (1H), 5,68 (1H), 7,30-7,48 (6H), 7,60-7,73 (4H) ppm.

30

Beispiel 1e

**(3S)-1-(tert.-Butyldiphenylsilyloxy)-2,2-dimethyl-3-(tetrahydropyran-2-yloxy)-pentan-5-ol**

Die Lösung von 3,09 g (6,83 mmol) der nach Beispiel 1d dargestellten Verbindung in 82 ml Tetrahydrofuran versetzt man man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon bei 23°C mit 13,1 ml einer 1 molaren Lösung von Boran in Tetrahydrofuran und läßt 1 Stunde reagieren. Anschließend versetzt man unter Eiskühlung mit 16,4 ml einer 5%-igen Natronlauge sowie 8,2 ml einer 30%-igen Wasserstoffperoxidlösung und rührt

35

weitere 30 Minuten. Man gießt in Wasser, extrahiert mehrfach mit Ethylacetat, wäscht die vereinigten organischen Extrakte mit Wasser, gesättigter Natriumchloridlösung und trocknet über Magnesiumsulfat. Den nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 1,78 g (3,78 mmol, 55%) der Titelverbindung als chromatographisch trennbares Gemisch der beiden THP-Epimeren sowie 0,44g (1,14 mmol, 17%) der Titelverbindung aus Beispiel 6 jeweils als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>), unpolares THP-Isomer: δ = 0,80 (3H), 0,88 (3H), 1,10 (9H), 1,18-1,80 (9H), 3,27 (1H), 3,39 (1H), 3,48 (1H), 3,64 (1H), 3,83 (1H), 3,90-4,08 (2H), 4,49 (1H), 7,31-7,50 (6H), 7,58-7,73 (4H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>), polares THP-Isomer: δ = 0,89 (3H), 0,98 (3H), 1,08 (9H), 1,36-1,60 (4H), 1,62-1,79 (3H), 1,88 (1H), 2,03 (1H), 3,37 (1H), 3,50 (1H), 3,57 (1H), 3,62-3,83 (4H), 4,70 (1H), 7,30-7,48 (6H), 7,61-7,73 (4H) ppm.

#### Beispiel 1f

##### **(3S)-1-(tert.-Butyldiphenylsilyloxy)-2,2-dimethyl-3-hydroxy-pent-4-en**

Die Lösung von 106,7 g (236 mmol) der nach Beispiel 1d dargestellten Verbindung in 1,5 l wasserfreiem Ethanol versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon mit 5,9 g Pyridinium-p-Toluolsulfonat und erhitzt 6 Stunden auf 50°C. Nach Lösungsmittelabzug chromatographiert man den Rückstand an feinem Kieselgel mit einem Gemisch aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 82,6 g (224 mmol, 95%) der Titelverbindung als farbloses Öl, in dem noch zusätzlich ca. 5g Ethoxy-tetrahydropyran enthalten sind.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) einer analytischen Probe: δ = 0,89 (6H), 1,08 (9H), 3,45 (1H), 3,49 (1H), 3,58 (1H), 4,09 (1H), 5,21 (1H), 5,33 (1H), 5,93 (1H), 7,34-7,51 (6H), 7,63-7,73 (4H) ppm.

#### Beispiel 1g

##### **(3S)-1-(tert.-Butyldiphenylsilyloxy)-2,2-dimethyl-pentan-3,5-diol**

Die Lösung von 570 mg (1,55 mmol) der nach Beispiel 1f dargestellten Verbindung setzt man in Analogie zu Beispiel 1e um und isoliert nach Aufarbeitung und Reinigung 410 mg (1,06 mmol, 68%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0,82 (3H), 0,93 (3H), 1,08 (9H), 1,56-1,79 (2H), 3,11 (1H), 3,50 (2H), 3,78-3,92 (3H), 4,02 (1H), 7,34-7,51 (6H), 7,61-7,71 (4H) ppm.

#### Beispiel 1h

##### **4(S)-[2-Methyl-1-(tert.-butyldiphenylsilyloxy)-prop-2-yl]-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan**



Die Lösung von 100 mg (0.212 mmol) der nach Beispiel 1e dargestellten Verbindungen in 2,6 ml wasserfreiem Aceton versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon mit 78,9 mg Kupfer(II)sulfat, einer Spatelspitze p-Toluolsulfonsäure-Monohydrat und rührt 16 Stunden bei 23°C. Man versetzt mit gesättigter Natriumhydrogencarbonatlösung, extrahiert mehrfach mit Diethylether, wäscht mit gesättigter Natriumchloridlösung und trocknet über Natriumsulfat. Den nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 24 mg (56 µmol, 27%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0,83 (3H), 0,89 (3H), 1,07 (9H), 1,30 (1H), 1,36 (3H), 1,44 (3H), 1,71 (1H), 3,24 (1H), 3,62 (1H), 3,86 (1H), 3,91-4,03 (2H), 7,31-7,48 (6H), 7,61-7,74 (4H) ppm.

#### Variante II

320 mg (0,88 mmol) der nach Beispiel 1g dargestellten Verbindung setzt man in Analogie zu Beispiel 1h; Variante I um und isoliert nach Aufarbeitung und Reinigung 234 mg (0,548 mmol, 62%) der Titelverbindung.

#### Variante III

Die Lösung von 5,60 g (14,5 mmol) der nach Beispiel 1g dargestellten Verbindung in 250 ml wasserfreiem Dichlormethan versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon mit 10 ml 2,2-Dimethoxypropan, 145 mg Campher-10-sulfonsäure und rührt 6 Stunden bei 23°C. Man versetzt mit Triethylamin, verdünnt mit Ethylacetat, wäscht mit gesättigter Natriumhydrogencarbonatlösung und trocknet über Natriumsulfat. Nach Filtration und Lösungsmittelabzug chromatographiert man den Rückstand an feinem Kieselgel mit einem Gemisch aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 5,52 g (12,9 mmol, 89%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

#### Beispiel 1i

##### (4S)-4-(2-Methyl-1-hydroxy-prop-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan

Die Lösung von 5,6 g (13,1 mmol) der nach Beispiel 1h dargestellten Verbindung in 75 ml wasserfreiem Tetrahydrofuran versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon mit 39 ml einer 1 molaren Lösung von Tetrabutylammoniumfluorid in Tetrahydrofuran und erwärmt 16 Stunden auf 50°C. Man versetzt mit gesättigter Natriumhydrogencarbonatlösung, extrahiert mehrfach mit Ethylacetat, wäscht mit gesättigter Natriumchloridlösung und trocknet über Natriumsulfat. Den nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 2,43 g (12,9 mmol, 99%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0,87 (3H), 0,90 (3H), 1,35 (1H), 1,37 (3H), 1,43 (3H), 1,77 (1H), 2,93 (1H), 3,36 (1H), 3,53 (1H), 3,79 (1H), 3,87 (1H), 3,96 (1H) ppm.

Beispiel 1k

**(4S)-4-(2-Methyl-1-oxo-prop-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan**

Die Lösung von 0,13 ml Oxalylchlorid in 5,7 ml wasserfreiem Dichlormethan kühlt man  
5 unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon auf -70°C, versetzt mit 0,21 ml  
Dimethylsulfoxid, der Lösung von 200 mg (1,06 mmol) der nach Beispiel 1i dargestellten  
Verbindung in 5,7 ml wasserfreiem Dichlormethan und rührt 0,5 Stunden. Anschließend  
versetzt man mit 0,65 ml Triethylamin, läßt 1 Stunde bei -30°C reagieren und versetzt mit  
10 n-Hexan und gesättigter Natriumhydrogencarbonatlösung. Die organische Phase wird  
abgetrennt, die wässrige noch mehrfach mit n-Hexan extrahiert, die vereinigten  
organischen Extrakte mit Wasser gewaschen und über Magnesiumsulfat getrocknet. Den  
nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand setzt man ohne Reinigung  
weiter um.

15 Beispiel 1l

**(4S)-4-((3RS)-2-Methyl-3-hydroxy-pent-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan**

Die Lösung von 900 mg (4,83 mmol) der nach Beispiel 1k dargestellten Verbindung in 14  
ml wasserfreiem Diethylether versetzt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon  
bei 0°C mit 2,42 ml einer 2,4 molaren Lösung von Ethylmagnesiumbromid in  
20 Diethylether, läßt auf 23°C erwärmen und 16 Stunden rühren. Man versetzt mit  
gesättigter Ammoniumchloridlösung, trennt die organische Phase ab und trocknet über  
Natriumsulfat. Den nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand reinigt  
man durch Chromatographie an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-  
Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 863 mg (3,99 mmol, 83%) der chromatographisch  
25 trennbaren 3R- und 3S- Epimeren der Titelverbindung sowie 77 mg der in Beispiel 1i  
beschriebenen Titelverbindung jeweils als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) unpolares Isomer: δ = 0,86 (3H), 0,89 (3H), 1,03 (3H), 1,25-1,37 (2H),  
1,37 (3H), 1,46 (3H), 1,49 (1H), 1,84 (1H), 3,35 (1H), 3,55 (1H), 3,81-4,02 (3H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) polares Isomer: δ = 0,72 (3H), 0,91 (3H), 0,99 (3H), 1,25-1,44 (2H),  
30 1,38 (3H), 1,43-1,60 (1H), 1,49 (3H), 1,76 (1H), 3,39 (1H), 3,63 (1H), 3,79-4,03 (3H)  
ppm.

Beispiel 1m

**(4S)-4-(2-Methyl-3-oxo-pent-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan**

35 Die Lösung von 850 mg (3,93 mmol) eines Gemisches der nach Beispiel 1l dargestellten  
Verbindungen in 63 ml wasserfreiem Dichlormethan versetzt man mit Molekularsieb (4A,  
ca. 80 Kugeln), 690 mg N-Methylmorpholino-N-oxid, 70 mg  
Tetrapropylammoniumperruthenat und rührt 16 Stunden bei 23°C unter einer  
Atmosphäre aus trockenem Argon. Man engt ein und reinigt das erhaltene Rohprodukt

durch Chromatographie an ca. 200 ml feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 728 mg (3,39 mmol, 86%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 1,00 (3H), 1,07 (3H), 1,11 (3H), 1,31 (3H), 1,32 (3H), 1,41 (3H), 1,62 (1H), 2,52 (2H), 3,86 (1H), 3,97 (1H), 4,05 (1H) ppm.

#### Beispiel 1n

##### **4-Tert.-butyldimethylsilyloxy-but-2-in-1-ol**

Zu einer Lösung von 100 g 2-Butin-1-ol und 158 g Imidazol in 300 ml Dimethylformamid tropft man bei 0°C unter Stickstoff langsam eine Lösung von 175 g tert.-Butyldimethylsilylchlorid in 100 ml eines 1:1 Gemisches von Hexan und Dimethylformamid und rührt 2 Stunden bei 0°C und 16 Stunden bei 22°C. Man verdünnt die Reaktionsmischung mit 2,5 l Ether, wäscht einmal mit Wasser, einmal mit 5%iger Schwefelsäure, einmal mit Wasser, einmal mit gesättigter Natriumhydrogencarbonat-Lösung und mit halbgesättigter Natriumchlorid-Lösung neutral. Nach Trocknung über Natriumsulfat und Filtration wird im Vakuum eingeeengt. Den so erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an Kieselgel. Mit Hexan / 0-40% Ether erhält man 74,3 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

IR (Film): 3357, 2929, 2858, 1472, 1362, 1255, 1132, 1083, 1015, 837, 778 cm<sup>-1</sup>.

#### Beispiel 1o

##### **(4R,5S,2'S)-4-Methyl-5-phenyl-3-[1-oxo-2-methyl-6-(tert.-butyldimethylsilyloxy)-hex-4-in-1-yl]-2-oxazolidinon**

Zu 21 g einer Lösung des nach Beispiel 1n hergestellten Silylethers in 125 ml Toluol gibt man unter Stickstoff 11,3 ml Lutidin. Anschließend kühlt man auf -40°C und tropft bei dieser Temperatur 17,7 ml Trifluormethansulfonsäureanhydrid zu. Dann verdünnt man mit 100 ml Hexan und rührt 10 Minuten. Diese Lösung wird unter Stickstoff über eine Umkehrfritte zu einer Lösung gegeben, die aus 17,8 g Hexamethyldisilazan in 140 ml Tetrahydrofuran mit 73,5 ml einer 1,6 M Lösung von Butyllithium in Hexan bei -60°C (10 Minuten Nachrührzeit) und 23,3 g (4R,5S)-4-Methyl-5-phenyl-3-propionyl-2-oxazolidinon in 62 ml Tetrahydrofuran (30 Minuten Nachrührzeit) hergestellt wurde. Man läßt 1 Stunde bei -60°C Nachrühren, versetzt dann mit 6 ml Essigsäure in 5 ml Tetrahydrofuran und läßt die Reaktionsmischung auf 22°C erwärmen. Man gibt auf 80 ml Wasser und extrahiert dreimal mit Ether. Die vereinigten organischen Phasen werden zweimal mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen und über Natriumsulfat getrocknet. Nach Filtration wird im Vakuum eingeeengt. Den so erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an Kieselgel. Mit Hexan / 0-20% Ether erhält man 16,0 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 0.10 (6H), 0.90 (9H), 0.92 (3H), 1.28 (3H), 2.47 (1H), 2.61 (1H), 3.96 (1H), 4.26 (2H), 4.78 (1H), 5.68 (1H), 7.31 (1H), 7.3-7.5 (3H) ppm.

Beispiel 1p

**(2S)-2-Methyl-6-(tert.-butyldimethylsilyloxy)-4-hexinsäureethylester**

Zu einer Lösung von 39.3 g des nach Beispiel 1o hergestellten Alkylierungsproduktes in 120 ml Ethanol gibt man unter Stickstoff 9.0 ml Titan(IV)ethylat und erhitzt unter Rückfluß für 4 Stunden. Die Reaktionsmischung wird im Vakuum eingeeengt und der Rückstand in 100 ml Essigester gelöst. Man gibt 3 ml Wasser hinzu, rührt für 20 Minuten, saugt vom Niederschlag ab und wäscht gut mit Essigester nach. Das Filtrat wird eingeeengt, mit 200 ml Hexan versetzt und vom Niederschlag abfiltriert. Der Niederschlag wird gut mit Hexan gewaschen. Das Filtrat wird im Vakuum eingeeengt und der so erhaltene Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-20% Ether erhält man 25.4 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CD}_2\text{Cl}_2$ ):  $\delta$  = 0.10 (3H), 0.90 (9H), 1.2-1.3 (6H), 2.37 (1H), 2.54 (1H), 2.60 (1H), 4.12 (2H), 4.27 (2H) ppm.

Beispiel 1q

**(2S)-2-Methyl-6-(tert.-butyldimethylsilyloxy)-hexansäureethylester**

Eine Lösung von 10.5 g des nach Beispiel 1p hergestellten Esters in 200 ml Essigester versetzt man mit 1 g 10% Palladium auf Kohle und rührt 3 Stunden bei 22°C in einer Wasserstoffatmosphäre. Anschließend filtriert man vom Katalysator ab, wäscht gut mit Essigester nach und engt das Filtrat im Vakuum ein. Den so erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an Kieselgel. Mit Hexan / 0-10% Ether erhält man 9.95 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CD}_2\text{Cl}_2$ ):  $\delta$  = 0.01 (6H), 0.84 (9H), 1.07 (3H), 1.18 (3H), 1.2 -1.7 (6H), 2.38 (1H), 3.57 (2H), 4.05 (2H) ppm.

Beispiel 1r

**(2S)-2-Methyl-6-(tert.-butyldimethylsilyloxy)-hexan-1-ol**

Zu einer Lösung aus 9.94 g des nach Beispiel 1q hergestellten Esters in 130 ml Toluol gibt man bei -40°C unter Stickstoff 63 ml einer 1.2 M Lösung von Diisobutylaluminiumhydrid in Toluol und rührt 1 Stunde bei dieser Temperatur. Anschließend gibt man vorsichtig 15 ml Isopropanol und nach 10 Minuten 30 ml Wasser hinzu, läßt auf 22°C kommen und rührt bei dieser Temperatur 2 Stunden. Man filtriert vom Niederschlag ab, wäscht gut mit Essigester nach und engt das Filtrat im Vakuum ein. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-30% Ether erhält man 7.9 g der Titelverbindung als farbloses Öl.  $[\alpha]_D$  -8.1° (c = 0.97,  $\text{CHCl}_3$ )

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ= 0.07 (3H), 0.89 (9H), 0.91 (3H), 1.0-1.7 (7H), 3.48 (2H), 3.52 (2H) ppm.

Beispiel 1s

5 **(2S)-2-Methyl-6-(tert.-butyldimethylsilyloxy)-1-(tetrahydro-2H-pyran-2-yloxy)-hexan**

Zu 6.4 g des nach Beispiel 1r hergestellten Alkohols in 26 ml Methylenchlorid gibt man bei 0°C unter Argon 3.52 ml Dihydropyran gefolgt von 49 mg p-Toluolsulfonsäure-Monohydrat. Nach 1.5 Stunden Rühren bei 0°C wird mit 10 ml gesättigte Natriumhydrogencarbonat-Lösung versetzt und mit Ether verdünnt. Die organische Phase wird zweimal mit halbgesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen und über Natriumsulfat getrocknet. Nach Filtration wird im Vakuum eingeeengt und der so erhaltene Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-5% Ether erhält man 4.75 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

10 <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ= 0.05 (6H), 0.89 (9H), 0.92 (3H), 1.0-1.9 (13H), 3.19 (1H), 3.50 (1H), 3.55-3.65 (3H), 4.87 (1H), 4.57 (1H) ppm.

Beispiel 1t

**(5S)-5-Methyl-6-(tetrahydro-2H-pyran-2-yloxy)-hexan-1-ol**

Zu einer Lösung von 4.7 g des nach Beispiel 1s hergestellten THP-Ethers in 170 ml Tetrahydrofuran gibt man unter Stickstoff 13.5 g Tetrabutylammoniumfluorid-Trihydrat und rührt 3 Stunden. Anschließend verdünnt man die Reaktionsmischung mit 800 ml Ether und wäscht dreimal mit je 20 ml halbgesättigter Natriumchlorid-Lösung und trocknet über Natriumsulfat. Nach Filtration wird im Vakuum eingeeengt und der so erhaltene Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-50% Essigester erhält man 2.88 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

25 <sup>1</sup>H-NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>): δ= 0.90 / 0.92 (3H), 1.1-1.9 (13H), 3.18 (1H), 3.40-3.65 (4H), 3.82 (1H), 4.53 (1H) ppm.

Beispiel 1u

30 **(2S)-6-Iod-2-methyl-1-(tetrahydro-2H-pyran-2-yloxy)-hexan**

Zu einer Lösung von 13.4 g Triphenylphosphin und 3.47 g Imidazol in 200 ml Methylenchlorid gibt man 12.9 g Iod. Anschließend tropft man den nach Beispiel 1t hergestellten Alkohol in 50 ml Methylenchlorid bei 22°C zu und rührt für 30 Minuten. Dann wird im Vakuum eingeeengt und der so erhaltene Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 5% Ether erhält man 10.2 g der Titelverbindung als schwach gelb gefärbtes Öl.

35 <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ= 0.94 / 0.95 (3H), 1.0-1.9 (13H), 3.1-3.3 (3H), 3.4-3.7 (2H), 3.85 (1H), 4.57 (1H) ppm.

## Beispiel 1v

**(5S)-5-Methyl-6-(tetrahydro-2H-pyran-2-yloxy)-hex-1-yl-triphenylphosphonium iodid**

Eine Mischung von 10.2 g des vorstehend hergestellten Iodids, 40.9 g Triphenylphosphin und 12.1 g N-Ethyldiisopropylamin werden bei 80°C für 6 Stunden gerührt. Nach dem Abkühlen wird in 30 ml Methylenchlorid-angelöst, mit 500 ml Ether versetzt, 10 Minuten gerührt und anschließend abdekantiert. Dies wird noch weitere viermal wiederholt. Der so erhaltene Rückstand wird in wasserfreiem Tetrahydrofuran gelöst, mit Toluol versetzt und im Vakuum eingeengt. Man erhält 17.1 g der Titelverbindung als festen Schaum.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.85 / 0.86 (3H), 1.10 (1H), 1.7-1.9 (13H), 3.13 (1H), 3.40-3.55 (2H), 3.64 (1H), 3.79 (1H), 4.49 (1H), 7.6-7.9 (15H) ppm.

## Beispiel 1w

**(S)-Dihydro-3-hydroxy-2(3H)-furanon**

10 g L-(–)-Äpfelsäure werden in 45 ml Trifluoressigsäureanhydrid 2 Stunden bei 25°C gerührt. Danach engt man im Vakuum ein, addiert zu dem Rückstand 7 ml Methanol und läßt 12 Stunden nachrühren. Anschließend wird im Vakuum eingeengt. Der erhaltene Rückstand wird in 150 ml absolutem Tetrahydrofuran gelöst. Man kühlt auf 0°C und addiert 150 ml Boran-Tetrahydrofuran-Komplex und läßt 2,5 Stunden bei 0°C nachrühren. Danach werden 150 ml Methanol addiert. Man läßt eine Stunde bei Raumtemperatur nachrühren und engt dann im Vakuum ein. Das erhaltene Rohprodukt wird in 80 ml Toluol gelöst. Man addiert 5 g Dowex® (aktiviert, sauer) und kocht eine Stunde unter Rückfluß. Anschließend wird das Dowex® abfiltriert und das Filtrat im Vakuum eingeengt. Das erhaltene Rohprodukt (7,61 g) wird ohne Aufreinigung in die Folgestufe eingesetzt.

## Beispiel 1x

**(S)-Dihydro-3-[[[(1,1-dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-2(3H)-furanon**

Zu einer Lösung von 7,61 g der unter Beispiel 1w beschriebenen Substanz und 10 g Imidazol in 100 ml N,N-Dimethylformamid werden 24 ml tert.-Butyldiphenylsilylchlorid addiert. Man läßt zwei Stunden bei 25°C nachrühren und gießt dann das Reaktionsgemisch auf eiskalte gesättigte Natriumhydrogencarbonatlösung. Man extrahiert mit Ethylacetat, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Nach Säulenchromatographie des Rohprodukts an Kieselgel mit einem Gemisch aus Hexan/Ethylacetat werden 13,4 g der Titelverbindung erhalten.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 7,72 (2H), 7,70 (2H), 7,40-7,50 (6H), 4,30-4,42 (2H), 4,01 (1H), 2,10-2,30 (2H), 1,11 (9H) ppm.

## Beispiel 1y

**(2RS,3S)-3-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]tetrahydro-2-furanol**

Zu einer Lösung von 13,4 g der unter Beispiel 1x beschriebenen Substanz in 150 ml absolutem Tetrahydrofuran werden 80 ml einer 1 molaren Lösung von Diisobutylaluminiumhydrid in Hexan bei  $-78^{\circ}\text{C}$  addiert. Man rührt 45 Minuten bei  $-78^{\circ}\text{C}$  nach und quencht dann mit Wasser. Man extrahiert mit Ethylacetat, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Man erhält 13,46 g der Titelverbindung, welche ohne Reinigung in die Folgestufe eingesetzt wird.

10 **Beispiel 1z****(2RS,3S)-3-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-1,4-pentandiol**

Zu 20 ml einer 3 molaren Lösung von Methylmagnesiumchlorid in Tetrahydrofuran wird bei  $0^{\circ}\text{C}$  eine Lösung von 13,46 g der unter Beispiel 1y beschriebenen Substanz in 150 ml absolutem Tetrahydrofuran getropft. Man läßt eine Stunde bei  $0^{\circ}\text{C}$  nachrühren und gießt dann auf gesättigte wäßrige Ammoniumchloridlösung. Man extrahiert mit Ethylacetat, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Nach Säulenchromatographie des Rohprodukts an Kieselgel mit einem Gemisch aus Hexan/Ethylacetat werden 11,42 g der Titelverbindung erhalten.

20  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 7,65-7,75 (4H), 7,40-7,55 (6H), 5,20 (1H), 4,30 (2H), 3,70 (1H), 1,80 (2H), 1,05 (9H) ppm.

**Beispiel 1aa**25 **(2RS,3S)-5-[[Dimethyl(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-3-[[[(1,1-dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-2-pentanol**

Zu einer Lösung von 11,42 g der unter Beispiel 1z beschriebenen Substanz und 3,25 g 1H-Imidazol in 120 ml N,N-Dimethylformamid werden 4,9 g *tert*-Butyldimethylsilylchlorid addiert. Man läßt 2 Stunden bei  $25^{\circ}\text{C}$  nachrühren und gießt dann das Reaktionsgemisch auf eiskalte gesättigte Natriumhydrogencarbonatlösung. Man extrahiert mit Ethylacetat, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Nach Säulenchromatographie des Rohprodukts an Kieselgel mit einem Gemisch aus Hexan/Ethylacetat werden 10,64 g der Titelverbindung erhalten.

35  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 7,60-7,70 (4H), 7,30-7,45 (6H), 3,70-3,80 (2H), 3,40 (1H), 3,00 (1H), 1,80 (1H), 1,60 (1H), 1,05-1,12 (12H), 0,82 (9H), 0,02 (6H) ppm.

**Beispiel 1ab****(3S)-5-[[Dimethyl(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-3-[[[(1,1-dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-2-pentanol**

Zu 7,37 ml Oxalylchlorid in 80 ml Dichlormethan werden bei  $-78^{\circ}\text{C}$  13 ml Dimethylsulfoxid addiert. Man läßt 3 Minuten nachrühren und addiert dann 10,46 g der unter Beispiel 1aa beschriebenen Substanz in 100 ml Dichlormethan. Nach weiteren 15 Minuten Nachrührzeit werden 52 ml Triethylamin hinzuge tropft. Anschließend läßt man

5 auf  $0^{\circ}\text{C}$  erwärmen. Danach wird das Reaktionsgemisch auf gesättigte Natriumhydrogencarbonatlösung gegossen. Man extrahiert mit Dichlormethan, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Nach Säulenchromatographie des Rohprodukts an Kieselgel mit einem Gemisch aus Hexan/Ethylacetat werden 9,3 g der Titelverbindung erhalten.

10  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 7,60-7,70 (4H), 7,32-7,50 (6H), 4,25 (1H), 3,72 (1H), 3,58 (1H), 2,05 (3H), 1,90 (1H), 1,75 (1H), 1,13 (9H), 0,89 (9H), 0,01 (6H) ppm.

Beispiel 1ac

**(E,3S)-1-[[Dimethyl(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-3-[[1,1-dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-4-methyl-5-(2-methylthiazol-4-yl)-pent-4-en**

15 Die Lösung von 6,82g Diethyl(2-methylthiazol-4-yl)methanphosphonat in 300 ml wasserfreiem Tetrahydrofuran kühlt man unter einer Atmosphäre aus trockenem Argon auf  $-5^{\circ}\text{C}$ , versetzt mit 16,2 ml einer 1,6 molaren Lösung von n-Butyllithium in n-Hexan, läßt auf  $23^{\circ}\text{C}$  erwärmen und 2 Stunden rühren. Anschließend kühlt man auf  $-78^{\circ}\text{C}$ , tropft die Lösung von 6,44 g (13,68 mmol) der nach Beispiel 1ab dargestellten Verbindung in

20 150 ml Tetrahydrofuran zu, läßt auf  $23^{\circ}\text{C}$  erwärmen und 16 Stunden rühren. Man gießt in gesättigte Ammoniumchloridlösung, extrahiert mehrfach mit Ethylacetat, wäscht die vereinigten organischen Extrakte mit gesättigter Natriumchloridlösung und trocknet über Natriumsulfat. Den nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-

25 Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 6,46 g (11,4 mmol, 83%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = -0,04 (6H), 0,83 (9H), 1,10 (9H), 1,79 (1H), 1,90 (1H), 1,97 (3H), 2,51 (3H), 3,51 (2H), 4,38 (1H), 6,22 (1H), 6,74 (1H), 7,23-7,47 (6H), 7,63 (2H), 7,70 (2H) ppm.

30 Beispiel 1ad

**(E,3S)-3-[[1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-4-methyl-5-(2-methylthiazol-4-yl)-pent-4-en-1-ol**

Die Lösung von 4,79 g (8,46 mmol) der nach Beispiel 1ac dargestellten Verbindung in 48

35 ml Tetrahydrofuran versetzt man mit 48 ml eines 65:35:10-Gemisches aus Eisessig/Wasser/Tetrahydrofuran und rührt 2,5 Tage bei  $23^{\circ}\text{C}$ . Man gießt in gesättigte Natriumcarbonatlösung, extrahiert mehrfach mit Ethylacetat, wäscht die vereinigten organischen Extrakte mit gesättigter Natriumchloridlösung und trocknet über Natriumsulfat. Den nach Filtration und Lösungsmittelabzug erhaltenen Rückstand reinigt



man durch Chromatographie an feinem Kieselgel mit einem Gradientensystem aus n-Hexan und Ethylacetat. Isoliert werden 3,42 g (7,57 mmol, 90%) der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 1,10 (9H), 1,53 (1H), 1,81 (2H), 1,96 (3H), 2,71 (3H), 3,59 (2H), 4,41 (1H), 6,38 (1H), 6,78 (1H), 7,26-7,49 (6H), 7,65 (2H), 7,72 (2H) ppm.

#### Beispiel 1ae

##### **(E,3S)-3-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-4-methyl-5-(2-methylthiazol-4-yl)-pent-4-enal**

Zu 1,55 ml Oxalylchlorid in 14,4 ml Methylenchlorid werden bei -70°C 2,73 ml Dimethylsulfoxid in 11,5 ml Methylenchlorid zugetropft. Man läßt 10 Minuten nachrühren und gibt dann 6,0 g des unter Beispiel 1ad beschriebenen Alkohols in 11,5 ml Methylenchlorid. Nach weiteren 2 Stunden Nachrührzeit werden 5,55 ml Triethylamin hinzugetropft. Anschließend läßt man innerhalb einer Stunde auf -40°C erwärmen und gibt dann das Reaktionsgemisch auf 30 ml Wasser. Man extrahiert zweimal mit Methylenchlorid, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Das so erhaltene Rohprodukt wird ohne weitere Reinigung in die nächste Stufe eingesetzt.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 1,09 (9H), 2,01 (3H), 2,51 (1H), 2,66 (1H), 2,72 (3H), 4,69 (1H), 6,43 (1H), 6,81 (1H), 7,3-7,8 (10H), 9,63 (1H) ppm.

#### Beispiel 1af

##### **(E,4S,2RS)-3-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-5-methyl-6-(2-methylthiazol-4-yl)-hex-5-en-2-ol**

Zu einer Lösung von 5,9 g des vorstehend hergestellten Aldehyds in 83 ml Tetrahydrofuran tropft man bei -10°C unter Stickstoff 6,94 ml einer 3 molaren Methylmagnesiumchlorid-Lösung in Tetrahydrofuran. Nach 30 minütigem Rühren bei -10°C wird die Reaktionsmischung auf gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung gegeben und dreimal mit Ether extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und im Vakuum eingeeengt. Das so erhaltene Rohprodukt wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0 - 80% Essigester erhält man 5,3 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 1,00-1,15 (12H), 1,55-1,90 (2H), 1,90 / 2,04 (3H), 2,69 / 2,72 (3H), 3,90 (1H), 4,40 / 4,48 (1H), 6,23 / 6,51 (1H), 6,69 / 6,80 (1H), 7,20-7,50 (6H), 7,60-7,80 (4H) ppm.

#### Beispiel 1ag

##### **(E,4S)-3-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-5-methyl-6-(2-methylthiazol-4-yl)-hex-5-en-2-on**

Zu einer Lösung von 5.25 g des vorstehend beschriebenen Alkohols in 113 ml Aceton tropft man bei -40°C 22.5 ml Jones-Reagenz und rührt kräftig. Man läßt das Reaktionsgemisch innerhalb einer Stunde auf -10°C erwärmen, versetzt mit 0.5 ml Isopropanol und rührt nochmals 15 Minuten. Nun wird mit Ether verdünnt, viermal mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Den so erhaltenen Rückstand reinigt man durch Chromatographie an Kieselgel. Mit Hexan / 0-60% Essigester erhält man 4.01 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 1.07 (9H), 1.94 (3H), 2.00 (3H), 2.59 (1H), 2.70 (3H), 2.74 (1H), 4.73 (1H), 6.29 (1H), 6.75 (1H), 7.25-7.50 (6H), 7.60-7.75 (4H) ppm.

#### Beispiel 1ah

**(1E,5E/Z,3S,10S)-3-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-2,5,10-trimethyl-1-(2-methylthiazol-4-yl)-11-(tetrahydro-2H-pyran-2-yloxy)-undec-1,5-dien**

Zu einer Lösung von 7.24 g des in Beispiel 1v beschriebenen Phosphoniumsalzes in 80 ml Tetrahydrofuran gibt man bei 0°C unter Argon 11.5 ml einer 1 molaren Lösung von Natriumbis(trimethylsilylamid) in Tetrahydrofuran und rührt anschließend 30 Minuten bei 22°C. Dann wird bei -40°C 2.61 g des in Beispiel 1ag hergestellten Ketons in 8 ml Tetrahydrofuran zugegeben und 45 Minuten bei dieser Temperatur gerührt. Die Reaktionsmischung gibt man auf gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung und extrahiert viermal mit Ether. Die vereinigten organischen Phasen werden mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltenen Rückstand wurde mit denen aus zwei weiteren Ansätzen, in denen insgesamt 3.57 g des Ketons aus Beispiel 1ag umgesetzt wurden, durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-70% Ether erhält man 3.7 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.80-0.92 (3H), 0.92-1.95 (13H), 1.07 (9H), 1.30 / 1.44 (3H), 1.98 / 1.99 (3H), 2.15-2.40 (2H), 2.70 (3H), 3.08 / 3.18 (1H), 3.47-3.62 (2H), 3.85 (1H), 4.27 (1H), 4.55 (1H), 5.05 (1H), 6.19 (1H), 6.78 (1H), 7.24-7.48 (6H), 7.57-7.78 (4H) ppm.

#### Beispiel 1ai

**(6E/Z,10E,2S,9S)-9-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-2,7,10-trimethyl-11-(2-methylthiazol-4-yl)-undec-6,10-dien-1-ol**

Zu einer Lösung von 4.0 g der in Beispiel 1ah hergestellten Verbindung in 21 ml Ethanol gibt man 156 mg Pyridinium-p-toluolsulfonat und rührt unter Argon 24 Stunden bei 50°C. Anschließend wird im Vakuum eingeeengt und der so erhaltene Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-60% Essigester erhält man 2.59 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.82 / 0.85 (3H), 0.91 (2H), 1.08 (9H), 1.05-1.90 (5H), 1.38 / 1.45 (3H), 2.00 (3H), 2.20-2.40 (2H), 2.70 (3H), 3.30-3.48 (2H), 4.26 (1H), 4.98 / 5.05 (1H), 6.15 / 6.18 (1H), 6.79 (1H), 7.20-7.50 (6H), 7.60-7.76 (4H) ppm.

5 Beispiel 1ak

**(6E/Z,10E,2S,9S)-9-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-2,7,10-trimethyl-11-(2-methylthiazol-4-yl)-undec-6,10-dienal**

Zu 0.416 ml Oxalylchlorid in 3.5 ml Methylenchlorid werden bei -70°C 0.729 ml Dimethylsulfoxid in 3.0 ml Methylenchlorid zugetropft. Man läßt 10 Minuten nachrühren und gibt dann 2.0 g des vorstehend hergestellten Alkohols in 3.0 ml Methylenchlorid zu. Nach weiteren 2 Stunden Nachrührzeit werden 1.49 ml Triethylamin hinzuge tropft.

Anschließend läßt man innerhalb einer Stunde auf -40°C erwärmen und gibt dann das Reaktionsgemisch auf 15 ml Wasser. Man extrahiert zweimal mit Methylenchlorid, wäscht die organische Phase mit gesättigter Natriumchloridlösung, trocknet über Natriumsulfat und engt im Vakuum ein. Das so erhaltene Rohprodukt (1.96 g) wird ohne weitere Reinigung in die nächste Stufe eingesetzt.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.97 / 1.01 (3H), 1.07 (9H), 1.0-2.1 (6H), 1.45 / 1.55 (3H), 2.00 / 2.01 (3H), 2.10-2.48 (3H), 2.69 (3H), 4.25 / 4.27 (1H), 5.01 / 5.03 (1H), 6.16 / 6.17 (1H), 6.79 (1H), 7.25-7.50 (6H), 7.58-7.77 (4H), 9.49 / 9.54 (1H) ppm.

20 Beispiel 1al

**(4S(4R,5S,6S,11E/Z,13S,14E))-4-(13-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-15-(2-methyl-4-thiazolyl)-3-oxo-5-hydroxy-2,4,6,11,14-pentamethyl-pentadeca-10,14-dien-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan (A) und**

**(4S(4R,5R,6S,11E/Z,13S,14E))-4-(13-[[[(1,1-Dimethylethyl)diphenylsilyl]oxy]-15-(2-methyl-4-thiazolyl)-3-oxo-5-hydroxy-2,4,6,11,14-pentamethyl-pentadeca-10,14-dien-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan (B)**

Zu einer Lösung von 0.62 ml Diisopropylamin in 3 ml Tetrahydrofuran gibt man bei -30°C unter Argon 1.92 ml einer 2.4 molaren Lösung von Butyllithium in Hexan zu. Nach 15 minütigem Rühren wird auf -70°C abgekühlt und eine Lösung von 857 mg der nach

Beispiel 1l hergestellten Verbindung in 3 ml Tetrahydrofuran zugetropft. Nach einer Stunde Rühren werden 500 mg des in Beispiel 1ak hergestellten Aldehyds in 3 ml Tetrahydrofuran zugetropft. Nach 1.5 Stunden Rühren bei dieser Temperatur wird die Reaktionsmischung auf gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung gegeben und mehrfach mit Essigester extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-50% Ether erhält man 1.62 g der Titelverbindung (A) als farbloses Öl, sowie 0.12 g der diastereomeren Verbindung B als schwach gelbgefärbtes Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von A: δ = 0.75 / 0.79 (3H), 1.00 / 1.01 (3H), 1.05 (9H), 1.09 / 1.10 (3H), 1.20 (3H), 1.30 / 1.43 (3H), 1.35 (3H), 1.43 (3H), 0.80-1.95 (10H), 1.96 / 1.99 (3H), 2.03-2.40 (2H), 2.70 (3H), 3.18-3.40 (2H), 3.80-4.09 (3H), 4.27 (1H), 5.06 (1H), 6.18 (1H), 6.79 (1H), 7.22-7.48 (6H), 7.58-7.77 (4H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von B: δ = 0.80-2.80 (18H), 1.02 (3H), 1.08 (12H), 1.28 (3H), 1.33 (3H), 1.41 / 1.42 (3H), 1.97 / 1.98 (3H), 2.71 (3H), 3.13-3.57 (2H), 3.75-4.15 (3H), 4.26 (1H), 5.03 (1H), 6.18 (1H), 6.78 (1H), 7.22-7.50 (6H), 7.53-7.70 (4H) ppm.

Beispiel 1am

**(4S(4R,5S,6S,11E/Z,13S,14E))-4-(13-[[1,1-Dimethylethyl]diphenylsilyl]oxy)-15-(2-methyl-4-thiazolyl)-3-oxo-5-(tetrahydropyran-2-yloxy)-2,4,6,11,14-pentamethyl-pentadeca-10,14-dien-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan**

Zu einer Lösung der vorstehend hergestellten Titelverbindung A in 30 ml Methylenchlorid gibt man 200 mg p-Toluolsulfonsäure-monohydrat und 3.03 ml Dihydropyran und rührt 3 Tage bei 22°C. Dann wird die Reaktionsmischung auf gesättigte Natriumhydrogencarbonat-Lösung gegossen und mit Methylenchlorid extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-40% Essigester erhält man 1.53 g der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0,8-2.55 (37H), 1.06 (9H), 1.96 / 1.98 (3H), 2.69 (3H), 3.10-4.15 (8H), 4.26 (1H), 4.40-4.63 (1H), 5.05 (1H), 6.17 (1H), 6.78 (1H), 7.21-7.48 (6H), 7.55-7.74 (4H) ppm.

Beispiel 1an

**(4S(4R,5S,6S,11E/Z,13S,14E))-4-(13-Hydroxy-15-(2-methyl-4-thiazolyl)-3-oxo-5-(tetrahydropyran-2-yloxy)-2,4,6,11,14-pentamethyl-pentadeca-10,14-dien-2-yl)-2,2-dimethyl-[1,3]dioxan**

Zu einer Lösung der vorstehend hergestellten Verbindung in 50 ml Tetrahydrofuran gibt man 5.34 ml einer 1 molaren Lösung von Tetrabutylammoniumfluorid in Tetrahydrofuran und rührt zunächst 12 Stunden bei 22°C und anschließend 4 Stunden bei 50°C. Dann wird die Reaktionsmischung auf gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung gegossen und mit Essigester extrahiert. Die organische Phase wird über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-80% Essigester erhält man 851 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0,80-2.60 (39H), 2.07 (3H), 2.73 (3H), 3.28 (1H), 3.45 (1H), 3.60-4.33 (6H), 4.43-4.61 (1H), 5.25-5.43 (1H), 6.60 (1H), 6.95 (1H) ppm.

Beispiel 1ao

**(3S,6R,7S,8S,12E/Z,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-5-oxo-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-heptadeca-12,16-dien-1,3,7,15-tetraol**

Zu einer Lösung von 725 mg des vorstehend hergestellten Alkohols in 33 ml Ethanol gibt man 445 mg p-Toluolsulfonsäure-monohydrat und rührt 3.5 Stunden unter Stickstoff bei 22°C. Dann wird die Reaktionsmischung auf gesättigte Natriumhydrogencarbonat-Lösung gegossen und mit Methylenchlorid extrahiert. Die organische Phase wird über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-100% Essigester / 0-10% Methanol erhält man 505 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.84 / 0.87 (3H), 1.07 (3H), 1.13 (3H), 1.23 (3H), 1.68 / 1.77 (3H), 1.00-1.85 (10H), 2.06 (3H), 2.08-2.6 (3H), 2.72 (3H), 3.20-3.51 (4H), 3.89 (2H), 4.05 (1H), 4.23 / 4.29 (1H), 5.30 / 5.40 (1H), 6.61 (1H), 6.96 / 6.97 (1H) ppm.

**Beispiel 1ap**

**(3S,6R,7S,8S,12E/Z,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-1,3,7,15-tetrakis-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-heptadeca-12,16-dien-5-on**

Zu einer Lösung von 490 mg des vorstehend hergestellten Tetrols in 30 ml Methylenchlorid gibt man bei -70°C unter Argon 4 ml 2,6-Lutidin und tropft dann 3.9 ml Trifluormethansulfonsäure-tert.butyldimethylsilylester zu und rührt 24 Stunden bei -70°C.

Dann wird die Reaktionsmischung auf gesättigte Natriumhydrogencarbonat-Lösung gegossen und mit Methylenchlorid extrahiert. Die organische Phase wird über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-50% Essigester erhält man 742 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.00-0.15 (24H), 0.90 (39H), 0.95-1.75 (9H), 1.05 (3H), 1.06 (3H), 1.22 (3H), 1.53 / 1.62 (3H), 2.00 / 2.02 (3H), 2.21 (2H), 2.71 (3H), 3.15 (1H), 3.58 (1H), 3.67 (1H), 3.77 (1H), 3.90 (1H), 4.23 (1H), 5.18 (1H), 6.49 (1H), 6.92 / 6.93 (1H) ppm.

**Beispiel 1aq**

**(3S,6R,7S,8S,12E/Z,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-1-hydroxy-3,7,15-tris-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-heptadeca-12,16-dien-5-on**

Zu einer Lösung von 735 mg des vorstehend hergestellten Silylethers in einem Gemisch aus 8 ml Dichlormethan und 8 ml Methanol gibt man bei 0°C unter Argon 179 mg Campher-10-sulfonsäure, läßt auf 22°C erwärmen und rührt noch 1,5 Stunden. Anschließend gibt man 0.6 ml Triethylamin zu, gießt in eine gesättigte Natriumhydrogencarbonatlösung und extrahiert mehrfach mit Dichlormethan. Die organische Phase wird über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel

gereinigt. Mit Hexan / 0-20% Essigester erhält man 527 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.00-0.17 (18H), 0.93 (30H), 1.09 (9H), 0.90-1.54 (8H), 1.66 / 1.73 (3H), 1.93 (2H), 2.00 / 2.03 (3H), 2.20 (2H), 2.73 (3H), 3.15 (1H), 3.67 (2H), 3.81 (1H), 4.10 (1H), 4.23 (1H), 5.20 (1H), 6.47 (1H); 6.92 / 6.94 (1H) ppm.

#### Beispiel 1ar

**(3S,6R,7S,8S,12E/Z,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-3,7,15-tris-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-5-oxo-heptadeca-12,16-dienal**

10 Zu einer Lösung von 520 mg des vorstehend hergestellten Alkohols in 30 ml Methylenchlorid gibt man bei 0°C unter Argon 1.28 g Collins-Reagenz und rührt 15 Minuten bei 0°C. Dann wird mit Celite versetzt und mit Ether verdünnt. Man filtriert über Celite ab, wäscht gut mit Ether nach und engt das Filtrat im Vakuum ein. Die so erhaltene Titelverbindung (463 mg) wird ohne weitere Reinigung als schwach gelb gefärbtes Öl in die nächste Stufe eingesetzt.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.0-0.17 (18H), 0.91 (30H), 1.05 (3H), 1.10 (3H), 1.27 (3H), 1.65 / 1.72 (3H), 1.00-1.62 (8H), 2.00 / 2.03 (3H), 2.21 (2H), 2.30-2.58 (3H), 2.72 (3H), 3.14 (1H), 3.79 (1H), 4.23 (1H), 5.20 (1H), 6.47 (1H), 6.92 / 6.94 (1H) ppm.

#### 20 Beispiel 1as

**(3S,6R,7S,8S,12Z,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-3,7,15-tris-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-5-oxo-heptadeca-12,16-diensäure (A) und**

**(3S,6R,7S,8S,12E,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-3,7,15-tris-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-5-oxo-heptadeca-12,16-diensäure (B)**

25 Zu einer Lösung von 530 mg des vorstehend hergestellten Aldehyds in 19.5 ml Aceton gibt man bei -30°C 1.5 ml einer standardisierten, 8N Chromschwefelsäurelösung und rührt 45 Minuten. Man gießt in ein Gemisch aus Wasser und Diethylether und wäscht die organische Phase zweimal mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung. Die organische Phase wird über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch zweimalige Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-90% Essigester erhält man 162 mg der Titelverbindung A als unpolare Komponente und 171 mg der Titelverbindung B als polare Komponente als farblose Öle.

35 <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von A: δ = 0.00-0.18 (18H), 0.88 (30H), 0.90-1.68 (7H), 1.09 (3H), 1.17 (3H), 1.20 (3H), 1.75 (3H), 1.98 (3H), 2.00-2.50 (4H), 2.72 (3H), 3.16 (1H), 3.73 (1H), 4.33 (1H), 4.43 (1H), 5.23 (1H), 6.72 (1H), 6.97 (1H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von B: δ = 0.00-0.17 (18H), 0.90 (30H), 0.90-1.45 (7H), 1.07 (3H), 1.13 (3H), 1.23 (3H), 1.63 (3H), 1.97 (3H), 1.85-2.58 (4H), 2.51 (3H), 3.17 (1H), 3.80 (1H), 4.21 (1H), 4.39 (1H), 5.18 (1H), 6.46 (1H), 6.92 (1H) ppm.

5 Beispiel 1at

**(3S,6R,7S,8S,12E,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-3,7-bis-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-15-hydroxy-5-oxo-heptadeca-12,16-diensäure**

Zu einer Lösung von 50 mg der unter Beispiel 1as hergestellten Titelverbindung B in 1.5 ml Tetrahydrofuran gibt man bei 22°C unter Argon 0.59 ml einer 1 molaren Lösung von Tetrabutylammoniumfluorid und rührt 16 Stunden. Dann wird die Reaktionsmischung auf eiskalte gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung gegeben und mit Essigester extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen wäscht man einmal mit 1N Salzsäure und einmal mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung. Die organische Phase wird über Natriumsulfat  
10 getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Der so erhaltene Rückstand wird durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-80% Essigester erhält man 42 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.00-0.15 (12H), 0.91 (21H), 1.07 (3H), 1.13 (3H), 1.23 (3H), 0.80-1.50 (9H), 1.69 (3H), 2.03 (3H), 2.11-2.58 (4H), 2.73 (3H), 3.15 (1H), 3.80 (1H), 4.24  
20 (1H), 4.41 (1H), 5.31 (1H), 6.53 (1H), 6.95 (1H) ppm.

Beispiel 1au

**(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Bis-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion**

Zu einer Lösung von 118 mg der vorstehend hergestellten Säure in 6 ml Tetrahydrofuran gibt man unter Argon 75 µl Triethylamin, 50 µl 2,4,6-Trichlorbenzoylchlorid und rührt 15 Minuten. Diese Lösung wird innerhalb von 3 Stunden zu einer Lösung von 195 mg 4-Dimethylaminopyridin in 90 ml Toluol getropft und weitere 15 Minuten bei 23°C gerührt.  
30 Man engt im Vakuum und reinigt den so erhaltenen Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel. Mit Hexan / 0-40% Essigester erhält man 87 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.00-0.17 (12H), 0.87 (9H), 0.93 (9H), 0.96 (3H), 1.12 (3H), 1.14 (3H), 1.21 (3H), 1.63 (3H), 2.14 (3H), 1.00-2.37 (10H), 2.49 (1H), 2.62 (1H), 2.73 (1H),  
35 2.82 (1H), 3.05 (1H), 3.92 (1H), 4.20 (1H), 5.31 (1H), 5.37 (1H), 6.59 (1H), 6.95 (1H) ppm.

Beispiel 1

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

Zu einer Lösung von 45 mg des vorstehend hergestellten Lactons in 1.5 ml Methylenchlorid gibt man bei -10°C unter Argon 348 µl einer 20%igen Lösung von Trifluoressigsäure in Methylenchlorid. Man läßt auf 0°C erwärmen und rührt 5 Stunden bei dieser Temperatur. Dann wird das Reaktionsgemisch im Vakuum eingeeengt und der so erhaltene Rückstand durch Chromatographie an Kieselgel gereinigt. Mit Hexan / 0-80% Essigester erhält man 22.4 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>): δ = 0.99 (3H), 1.08 (3H), 1.20 (3H), 1.31 (3H), 1.64 (3H), 1.05-1.75 (5H), 1.90 (1H), 2.01 (3H), 2.21 (2H), 2.34 (1H), 2.49-2.52 (3H), 2.72 (3H), 3.10 (1H), 3.22 (1H), 3.77 (1H), 4.02 (1H), 5.31 (1H), 5.52 (1H), 6.58 (1H), 6.98 (1H) ppm.

#### Beispiel 2

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion (A) und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion (B)

Zu einer Lösung von 20 mg der nach Beispiel 1 hergestellten Titelverbindung in 0.4 ml Acetonitril gibt man bei 0°C unter Argon 233 µl einer 0.1037 molaren EDTA-diNatrium-Salzlösung und 389 µl 1,1,1-Trifluoraceton. Dann wird eine Mischung aus 47.6 mg Oxon und 27.3 mg Natriumhydrogencarbonat zugegeben und für 2.5 Stunden bei 0°C gerührt. Anschließend versetzt man mit Natriumthiosulfat-Lösung und extrahiert mehrfach mit Essigester. Die vereinigten organischen Phasen werden mit gesättigter Natriumchlorid-Lösung gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und nach Filtration im Vakuum eingeeengt. Ein zweiter Ansatz in gleicher Größe liefert eine weitere Charge an Rohprodukt. Die so erhaltenen vereinigten Rohprodukte reinigt man durch präparative Dickschichtchromatographie mit Hexan / 50% Essigester vor. Die eigentliche Trennung der Titelverbindungen A und B erfolgt durch eine HPLC-Trennung (Chiralpak AD 10µ; Hexan:Ethanol 85:15). Man erhält auf diese Weise 6.7 mg der Titelverbindung A und 16.2 mg der Titelverbindung B als farblose Öle.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von A: δ = 0.99 (3H), 1.05 (3H), 1.16 (3H), 1.43 (3H), 1.45 (3H), 1.05-1.72 (8H), 2.00 (2H), 2.09 (3H), 2.44 (2H), 2.72 (3H), 2.89 (1H), 3.50 (1H), 3.83 (1H), 4.14 (1H), 4.50 (1H), 5.62 (1H), 6.57 (1H), 6.98 (1H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von B: δ = 1.03 (3H), 1.13 (3H), 1.23 (3H), 1.34 (3H), 1.36 (3H), 1.07-1.72 (7H), 1.70 (1H), 2.08 (3H), 2.22 (2H), 2.50 (1H), 2.60 (1H), 2.72 (3H), 2.93 (1H), 3.25 (1H), 3.57 (1H), 3.82 (1H), 4.05 (1H), 5.44 (1H), 6.66 (1H), 6.98 (1H) ppm.



**Beispiel 3**

**(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion**

**5 Beispiel 3a**

**(3S,6R,7S,8S,12Z,15S,16E)-17-(2-Methyl-4-thiazolyl)-4,4,6,8,13,16-hexamethyl-3,7-bis-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-15-hydroxy-5-oxo-heptadeca-12,16-diensäure**

In Analogie zu Beispiel 1s werden 150 mg der in Beispiel 1r hergestellten Titelverbindung

**10 A** umgesetzt. Man erhält 81 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 0.00-0.16 (12H), 0.90 (21H), 1.08 (3H), 1.17 (3H), 1.18 (3H), 0.80-2.28 (8H), 1.78 (3H), 2.03 (3H), 2.30-2.55 (4H), 2.73 (3H), 3.14 (1H), 3.78 (1H), 4.28 (1H), 4.42 (1H), 5.38 (1H), 6.78 (1H), 6.97 (1H) ppm.

**15 Beispiel 3b**

**(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Bis-[[dimethyl-(1,1-dimethylethyl)silyl]oxy]-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion**

In Analogie zu Beispiel 1au werden 81 mg der vorstehend hergestellten Verbindung

**20** umgesetzt. Man erhält nach Säulenchromatographie 75 mg, die nochmals durch präparative Dickschichtchromatographie mit Hexan / 10% Essigester gereinigt werden. Man erhält 58 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 0.00-0.17 (12H), 0.79-0.99 (24H), 1.09 (3H), 1.16 (3H), 1.72 (3H), 1.00-1.92 (8H), 2.12 (3H), 2.31 (2H), 2.68 (1H), 2.71 (1H), 2.88 (1H), 2.99 (2H), 3.89 (1H), 3.98 (1H), 5.06 (1H), 5.27 (1H), 6.59 (1H), 6.98 (1H) ppm.

**Beispiel 3**

**(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion**

**30** In Analogie zu Beispiel 1 werden 27 mg der vorstehend hergestellten Verbindung umgesetzt. Die Reinigung erfolgt durch präparative Dickschichtchromatographie mit Hexan / 20% Essigester. Man erhält 17.4 mg der Titelverbindung als farbloses Öl.

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  = 1.02 (3H), 1.11 (3H), 1.20 (3H), 1.35 (3H), 1.75 (3H), 1.10-2.05 (7H), 2.10 (3H), 2.20 (1H), 2.39 (1H), 2.51 (1H), 2.70 (3H), 2.83-3.01 (2H), 3.14 (1H),

**35** 3.80 (1H), 3.42 (1H), 4.20 (1H), 5.23 (1H), 5.40 (1H), 6.62 (1H), 6.98 (1H) ppm.

**Beispiel 4**

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion (A) und

5 (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion (B)

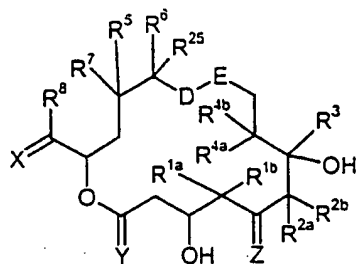
In Analogie zu Beispiel 2 werden 15 mg der in Beispiel 3 hergestellten Verbindung umgesetzt. Die Reinigung erfolgt nur durch präparative Dickschichtchromatographie. Man erhält 0.3 mg der Titelverbindung A und 11 mg der Titelverbindung B als farblose  
10 Öle.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von A: δ = 0.94 (3H), 1.04 (3H), 1.10 (3H), 1.41 (3H), 1.43 (3H), 1.05-2.20 (7H), 2.12 (3H), 2.24-2.65 (4H), 2.73 (3H), 3.32 (1H), 3.40-3.82 (2H), 4.07 (1H), 5.80 (1H), 6.62 (1H), 6.98 (1H) ppm.

<sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>) von B: δ = 1.03 (3H), 1.15 (3H), 1.21 (3H), 1.36 (3H), 1.38 (3H), 1.10-1.97 (9H), 2.05 (3H), 2.09 (1H), 2.42 (1H), 2.53 (1H), 2.70 (3H), 2.72 (1H), 3.14 (1H),  
15 3.67 (1H), 3.81 (1H), 4.12 (1H), 5.49 (1H), 6.56 (1H), 6.97 (1H) ppm.

# Patentansprüche

1. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I,



I,

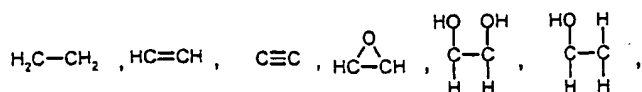
worin

R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl, oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>m</sub>-Gruppe mit m = 2, 3, 4 oder 5,

R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-Gruppe mit n = 2, 3, 4 oder 5,

R<sup>3</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl,

R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>p</sub>-Gruppe mit p = 2, 3, 4 oder 5,



D-E eine Gruppe

R<sup>5</sup> C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl,

R<sup>6</sup>, R<sup>7</sup> je ein Wasserstoffatom, gemeinsam eine zusätzliche Bindung oder ein Sauerstoffatom,

R<sup>25</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, wobei der Alkylrest gegebenenfalls durch ein oder mehrere Halogenatome und/oder Hydroxygruppen substituiert sein kann,

R<sup>8</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl, die alle substituiert sein können,

X ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen OR<sup>9</sup>, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylen-α,ω-dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann, H/OR<sup>10</sup> oder eine Gruppierung CR<sup>11</sup>R<sup>12</sup>,

wobei

R<sup>9</sup> für einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkylrest,

R<sup>10</sup> für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe PG<sup>1</sup>,

R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup> gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl-, Aryl-, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkylrest oder R<sup>11</sup> und R<sup>12</sup> zusammen mit dem Methylenkohlenstoffatom gemeinsam für einen 5- bis 7-gliedrigen carbocyclischen Ring

stehen,

Y ein Sauerstoffatom oder zwei Wasserstoffatome,

Z ein Sauerstoffatom oder H/OR<sup>13</sup>,

wobei

R<sup>13</sup> Wasserstoff oder eine Schutzgruppe PG<sup>2</sup>

ist,

bedeuten,

einschließlich aller Stereoisomeren dieser Verbindungen und deren Gemische.

2. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup> und R<sup>7</sup> alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B.

3. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B.

4. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin Y, Z, R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup> und R<sup>7</sup> alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B.

5. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin Y, Z, R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B.

6. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, D-E, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup> und X alle die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben können, und der Rest des Moleküls identisch ist mit dem natürlich vorkommenden Epothilon A oder B.

7. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin R<sup>5</sup> für eine Methyl-, Ethyl- oder Propylgruppe steht.

8. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 7, worin R<sup>6</sup> und R<sup>7</sup> gemeinsam eine zusätzliche Bindung bedeuten.

9. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 7, worin R<sup>6</sup> und R<sup>7</sup> gemeinsam eine Epoxygruppe bedeuten.

10. Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, worin R<sup>25</sup> für ein Wasserstoffatom, eine Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Hydroxymethyl-, Fluormethyl- oder Trifluormethylgruppe steht.

11. Verbindungen der allgemeinen Formel I nach Anspruch 1, nämlich

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

- (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,3,3,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion
- (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion
- (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion
- (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-7-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,9,14-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion
- (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion
- (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-5,5-dimethylen-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-7,9,14-trimethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion
- (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-8,8-dimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-8,8-dimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion
- (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-5,5-trimethylen-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-7,9,14-trimethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion
- (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-8,8-trimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-8,8-trimethylen-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,10,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

5 (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

10

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

15 (1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

20 (4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
25 (1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-7,14-diethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,9-trimethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

30

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1,10-diethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1,10-diethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,12-trimethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

35

(4S,7R,8S,9S,13Z,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-proyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-oxazolyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-16-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9,14-pentamethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und  
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-3-(1-methyl-2-(2-pyridyl)ethenyl)-1,8,8,10,12-pentamethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-7-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,9,14-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,8,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion und



(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-10-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1,3,8,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-ethyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

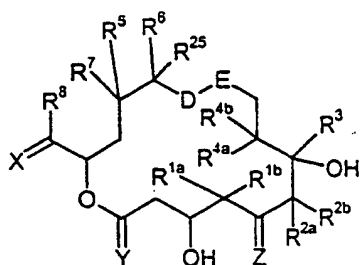
(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-ethyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion

(4S,7R,8S,9S,13E,16S(E))-4,8-Dihydroxy-14-propyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-1-oxa-5,5,7,9-tetramethyl-cyclohexadec-13-en-2,6-dion

(1S,3S(E),7S,10R,11S,12S,16S)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-3-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion  
und

(1R,3S(E),7S,10R,11S,12S,16R)-7,11-Dihydroxy-1-propyl-16-(1-methyl-2-(2-methyl-4-thiazolyl)ethenyl)-8,8,10,12-tetramethyl-4,17-dioxabicyclo[14.1.0]heptadecan-5,9-dion.

12. Verfahren zur Herstellung der Epothilon-Derivate der allgemeinen Formel I gemäß Anspruch 1

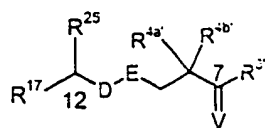


I,

worin

die Substituenten die in der allgemeinen Formel I angegebenen Bedeutungen haben, dadurch gekennzeichnet, daß

ein Fragment der allgemeinen Formel B



B

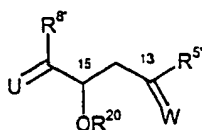
worin

R3', R4a', R4b' und R25 die bereits für R3, R4a, R4b und R25 genannten Bedeutungen haben, und

R17 eine Hydroxygruppe, Halogen, eine geschützte Hydroxygruppe OPG<sup>3</sup>, ein Phosphoniumhalogenidrest PPh<sub>3</sub><sup>+</sup>Hal<sup>-</sup> (Ph = Phenyl; Hal = F, Cl, Br, I), ein Phosphonatrest P(O)(OQ)<sub>2</sub> (Q = C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl oder Phenyl) oder ein Phosphinoxidrest P(O)Ph<sub>2</sub> (Ph = Phenyl),

bedeuten,

mit einem Fragment der allgemeinen Formel C



C

worin

R5', R8' die bereits in der allgemeinen Formel I für R5 und R8 genannte Bedeutung haben und

R20 ein Wasserstoffatom oder eine Schutzgruppe PG<sup>5</sup>

U ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen OR<sup>9</sup>, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann, H/OR<sup>10</sup> oder eine Gruppierung CR<sup>11</sup>R<sup>12</sup>,

wobei

R<sup>9</sup> für einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkylrest,

R<sup>10</sup> für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe PG<sup>6</sup>,

R<sup>11</sup>, R<sup>12</sup> gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl-, Aryl-, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkylrest oder R<sup>11</sup> und R<sup>12</sup> zusammen mit dem Methylenkohlenstoffatom gemeinsam für einen 5- bis 7-gliedrigen carbocyclischen Ring

W ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen OR<sup>21</sup>, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann oder H/OR<sup>22</sup>,

stehen,

wobei

R21

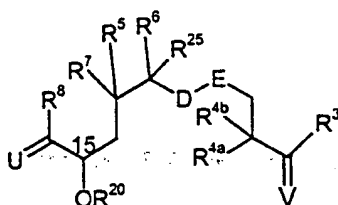
für einen C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkylrest,

R22

für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe PG<sup>7</sup>,

5 bedeuten,

zu einem Teilfragment der allgemeinen Formel BC



BC,

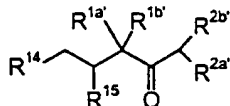
10

worin

R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>20</sup>, D, E, U und V die bereits genannten Bedeutungen haben,

umgesetzt und dieses Teilfragment BC mit einem Fragment der allgemeinen Formel A

15



A,

worin

R<sup>1a'</sup>, R<sup>1b'</sup>, R<sup>2a'</sup> und R<sup>2b'</sup> die bereits für R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup> und R<sup>2b</sup> genannten Bedeutungen haben und

20

R<sup>14</sup> CH<sub>2</sub>OR<sup>14a</sup>, CH<sub>2</sub>-Hal, CHO, CO<sub>2</sub>R<sup>14b</sup>, COHal,

R<sup>15</sup> Wasserstoff, OR<sup>15a</sup>, Hal, OSO<sub>2</sub>R<sup>15b</sup>,

R<sup>14a</sup>, R<sup>15a</sup> Wasserstoff, SO<sub>2</sub>-Alkyl, SO<sub>2</sub>-Aryl, SO<sub>2</sub>-Aralkyl oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>o</sub>-Gruppe oder gemeinsam eine CR<sup>16a</sup>R<sup>16b</sup>-Gruppe,

25

R<sup>14b</sup>, R<sup>15b</sup> Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl,

R<sup>16a</sup>, R<sup>16b</sup> gleich oder verschieden sind und Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, Aryl, C<sub>7</sub>-C<sub>20</sub>-Aralkyl, oder gemeinsam eine -(CH<sub>2</sub>)<sub>q</sub>-Gruppe,

Hal Halogen,

o 2 bis 4,

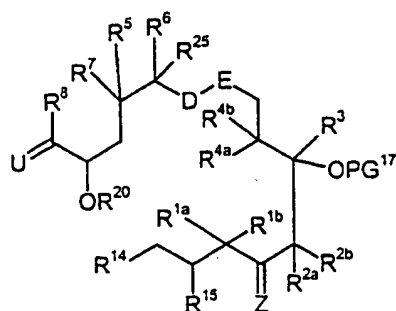
30

q 3 bis 6,

einschließlich aller Stereoisomeren sowie deren Gemische bedeuten sowie

freie Hydroxylgruppen in R<sup>14</sup> und R<sup>15</sup> verethert oder verestert, freie Carbonylgruppen in A und R<sup>14</sup> ketalisiert, in einen Enolether überführt oder reduziert sowie freie Säuregruppen in A in deren Salze mit Basen überführt sein können,

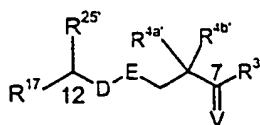
- 5 zu einem Teilfragment der allgemeinen Formel ABC



ABC,

- 10 worin R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>14</sup>, R<sup>15</sup>, D, E, U und Z die bereits genannten Bedeutungen haben, umgesetzt und dieses Teilfragment der allgemeinen Formel ABC zu einem Epothilon-Derivat der allgemeinen Formel cyclisiert wird.

- 15 13. Zwischenprodukte der allgemeinen Formel B



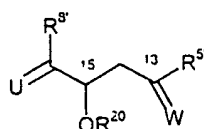
B

worin

- 20 R<sup>3'</sup>, R<sup>4a'</sup>, R<sup>4b'</sup> und R<sup>25'</sup> die bereits für R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup> und R<sup>25</sup> genannten Bedeutungen haben, und  
 R<sup>17</sup> eine Hydroxygruppe, Halogen, eine geschützte Hydroxygruppe OPG<sup>3</sup>, ein Phosphoniumhalogenidrest PPh<sub>3</sub><sup>+</sup>Hal<sup>-</sup> (Ph = Phenyl; Hal = F, Cl, Br, I), ein Phosphonatrest P(O)(OQ)<sub>2</sub> (Q = C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl oder Phenyl) oder ein  
 25 Phosphinoxidrest P(O)Ph<sub>2</sub> (Ph = Phenyl) bedeuten.

14. Zwischenprodukte der allgemeinen Formel C

75



C

worin

$R^{5'}$ ,  $R^{8'}$  die bereits in der allgemeinen Formel I für  $R^5$  und  $R^8$  genannte Bedeutung haben und

5  $R^{20}$  ein Wasserstoffatom oder eine Schutzgruppe  $PG^5$

U ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^9$ , eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann,  $H/OR^{10}$  oder eine Gruppierung  $CR^{11}R^{12}$ ,

wobei

10  $R^9$  für einen  $C_1$ - $C_{20}$ -Alkylrest,

$R^{10}$  für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^6$ ,

$R^{11}$ ,  $R^{12}$  gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, einen  $C_1$ - $C_{20}$ -Alkyl-, Aryl-,  $C_7$ - $C_{20}$ -Aralkylrest oder  $R^{11}$  und  $R^{12}$  zusammen mit dem Methylenkohlenstoffatom gemeinsam für einen 5- bis 7-gliedrigen carbocyclischen Ring

15

W ein Sauerstoffatom, zwei Alkoxygruppen  $OR^{21}$ , eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkylen- $\alpha,\omega$ -dioxygruppe, die geradkettig oder verzweigt sein kann oder  $H/OR^{22}$ , stehen,

20

wobei

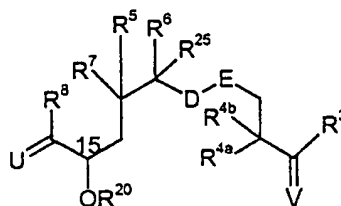
$R^{21}$  für einen  $C_1$ - $C_{20}$ -Alkylrest,

$R^{22}$  für Wasserstoff oder eine Schutzgruppe  $PG^7$ ,

bedeuten.

25

15. Zwischenprodukte der allgemeinen Formel BC

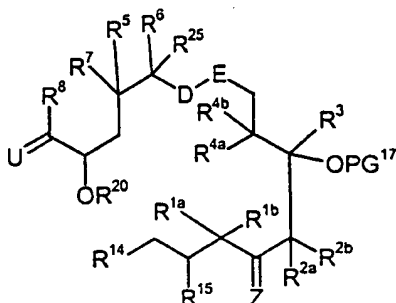


BC,

worin

R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>20</sup>, D, E, U und V die bereits genannten Bedeutungen haben.

5 16. Zwischenprodukte der allgemeinen Formel ABC



ABC,

10 worin R<sup>1a</sup>, R<sup>1b</sup>, R<sup>2a</sup>, R<sup>2b</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4a</sup>, R<sup>4b</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>25</sup>, R<sup>7</sup>, R<sup>8</sup>, R<sup>14</sup>, R<sup>15</sup>, D, E, U und Z die bereits genannten Bedeutungen haben.

15 17. Pharmazeutische Präparate, enthaltend mindestens eine Verbindung der allgemeinen Formel I gemäß Anspruch 1 sowie einen pharmazeutisch verträglichen Träger.

18. Verwendung der Verbindungen der allgemeinen Formel I gemäß Anspruch 1 zur Herstellung von Arzneimitteln.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.

PCT/EP 99/04915

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 C07D313/00 C07D493/04 C07D417/06 C07D413/06 C07D405/06  
C07F9/54 C07D277/24 A61K31/335

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C07D C07F A61K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 98 25929 A (NOVARTIS-THE SCRIPPS RESEARCH INSTITUTE) 18 June 1998 (1998-06-18) page 40 -page 49; claims	1-13, 16-18
X	WO 97 19086 A (GESELLSCHAFT FÜR BIOTECHNOLOGISCHE FORSCHUNG) 29 May 1997 (1997-05-29) page 1 -page 7; claims	1, 12, 16-18
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 November 1999

Date of mailing of the international search report

03/12/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Francois, J

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PCT/EP 99/04915

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	K C NICOLAOU ET AL.: "JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY" JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, vol. 119, no. 34, 1 January 1997 (1997-01-01), pages 7974-7991, XP002095719 ISSN: 0002-7863 cited in the application page 7974 -page 7980	1,12, 14-16
X	K.C. NICOLAOU ET AL.: "TOTAL SYNTHESIS OF OXAZOLE- AND CYCLOPROPANE-CONTAINING EPOTHILONE B" CHEM. EUR. J., vol. 3, no. 12, 1997, pages 1971-1986, XP002121565 WEINHEIM page 1971 -page 1975	15,16
X	D.MENG ET AL.: "TOTAL SYNTHESIS OF EPOTHILONE A AND B" JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY., vol. 119, no. 42, 1997, pages 10073-10092, XP002122507 AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, WASHINGTON, DC., US ISSN: 0002-7863 page 10077 -page 10086	14,15
X	M.SATO ET AL.: "STUDIES ON STEREOCHEMISTRY OF THEONEZOLIDES A" TETRAHEDRON., vol. 54, no. 19, 1998, pages 4819-4826, XP002122508 ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM., NL ISSN: 0040-4020 page 4819 -page 4821; examples 8,9	13
X	HIDEAKI OIKAWA ET AL.: "SYNTHETIC STUDY OF AAL-TOXINS" TETRAHEDRON LETTERS., vol. 37, no. 34, 1996, pages 6169-6172, XP002122509 ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM., NL ISSN: 0040-4039 page 6169 -page 6171	13
P,X	WO 99 07692 A (SCHERING) 18 February 1999 (1999-02-18) the whole document	1-18

-/-



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.

PCT/EP 99/04915

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>S.C. SINHA ET AL.: "THE ANTIBODY CATALYSIS ROUTE TO THE TOTAL SYNTHESIS OF EPOTHILONES."            PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF USA.,            vol. 95, no. 25, December 1988 (1988-12),            pages 14603-8, XP002121755            NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. WASHINGTON.,            US            ISSN: 0027-8424            page 14603 -page 14606</p>	12,14
P,A	<p>A. BALOG ET AL.: "A NOVEL ALDOL CONDENSATION"            ANGEWANDTE CHEMIE. INTERNATIONAL EDITION.,            vol. 37, no. 19,            16 October 1998 (1998-10-16), pages            2675-8, XP002121756            VERLAG CHEMIE. WEINHEIM., DE            ISSN: 0570-0833            page 2675 -page 2677</p>	1,12-16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Application No

PCT/EP 99/04915

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9825929 A	18-06-1998	AU 5757798 A EP 0944634 A	03-07-1998 29-09-1999
WO 9719086 A	29-05-1997	DE 19542986 A DE 19639456 A EP 0873341 A EP 0903348 A	22-05-1997 26-03-1998 28-10-1998 24-03-1999
WO 9907692 A	18-02-1999	DE 19735574 A DE 19735575 A DE 19735578 A DE 19748928 A DE 19749717 A DE 19751200 A DE 19813821 A AU 9340998 A	11-02-1999 11-02-1999 11-02-1999 29-04-1999 06-05-1999 20-05-1999 23-09-1999 01-03-1999

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. .ionales Abzeichen

PCT/EP 99/04915

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 7 C07D313/00 C07D493/04 C07D417/06 C07D413/06 C07D405/06 C07F9/54 C07D277/24 A61K31/335		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 C07D C07F A61K		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 98 25929 A (NOVARTIS-THE SCRIPPS RESEARCH INSTITUTE) 18. Juni 1998 (1998-06-18) Seite 40 -Seite 49; Ansprüche	1-13, 16-18
X	WO 97 19086 A (GESELLSCHAFT FÜR BIOTECHNOLOGISCHE FORSCHUNG) 29. Mai 1997 (1997-05-29) Seite 1 -Seite 7; Ansprüche	1, 12, 16-18
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 24. November 1999		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 03/12/1999
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2 NL - 2200 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 eponi, Fax (+31-70) 340-3018		Bevollmächtigter Bediensteter Francois, J

Internationales Altkennzeichen

PCT/EP 99/04915

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	K C NICOLAOU ET AL.: "JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY" JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, Bd. 119, Nr. 34, 1. Januar 1997 (1997-01-01), Seiten 7974-7991, XP002095719 ISSN: 0002-7863 in der Anmeldung erwähnt Seite 7974 -Seite 7980	1,12, 14-16
X	K.C. NICOLAOU ET AL.: "TOTAL SYNTHESIS OF OXAZOLE- AND CYCLOPROPANE-CONTAINING EPOTHILONE B" CHEM. EUR. J., Bd. 3, Nr. 12, 1997, Seiten 1971-1986, XP002121565 WEINHEIM Seite 1971 -Seite 1975	15,16
X	D.MENG ET AL.: "TOTAL SYNTHESIS OF EPOTHILONE A AND B" JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY., Bd. 119, Nr. 42, 1997, Seiten 10073-10092, XP002122507 AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, WASHINGTON, DC., US ISSN: 0002-7863 Seite 10077 -Seite 10086	14,15
X	M.SATO ET AL.: "STUDIES ON STEREOCHEMISTRY OF THEONEZOLIDES A" TETRAHEDRON., Bd. 54, Nr. 19, 1998, Seiten 4819-4826, XP002122508 ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM., NL ISSN: 0040-4020 Seite 4819 -Seite 4821; Beispiele 8,9	13
X	HIDEAKI OIKAWA ET AL.: "SYNTHETIC STUDY OF AAL-TOXINS" TETRAHEDRON LETTERS., Bd. 37, Nr. 34, 1996, Seiten 6169-6172, XP002122509 ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM., NL ISSN: 0040-4039 Seite 6169 -Seite 6171	13
P,X	WO 99 07692 A (SCHERING) 18. Februar 1999 (1999-02-18) das ganze Dokument	1-18

-/-

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. .ionales Aktenzeichen

PCT/EP 99/04915

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	S.C. SINHA ET AL.: "THE ANTIBODY CATALYSIS ROUTE TO THE TOTAL SYNTHESIS OF EPOTHILONES." PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF USA., Bd. 95, Nr. 25, Dezember 1988 (1988-12), Seiten 14603-8, XP002121755 NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. WASHINGTON., US ISSN: 0027-8424 Seite 14603 -Seite 14606	12,14
P,A	A. BALOG ET AL.: "A NOVEL ALDOL CONDENSATION" ANGEWANDTE CHEMIE. INTERNATIONAL EDITION., Bd. 37, Nr. 19, 16. Oktober 1998 (1998-10-16), Seiten 2675-8, XP002121756 VERLAG CHEMIE. WEINHEIM., DE ISSN: 0570-0833 Seite 2675 -Seite 2677	1,12-16

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. J.inales Aktenzeichen

PCT/EP 99/04915

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9825929	A	18-06-1998	AU	5757798 A	03-07-1998
			EP	0944634 A	29-09-1999
WO 9719086	A	29-05-1997	DE	19542986 A	22-05-1997
			DE	19639456 A	26-03-1998
			EP	0873341 A	28-10-1998
			EP	0903348 A	24-03-1999
WO 9907692	A	18-02-1999	DE	19735574 A	11-02-1999
			DE	19735575 A	11-02-1999
			DE	19735578 A	11-02-1999
			DE	19748928 A	29-04-1999
			DE	19749717 A	06-05-1999
			DE	19751200 A	20-05-1999
			DE	19813821 A	23-09-1999
			AU	9340998 A	01-03-1999